Titel van de PBL-uitdaging:
Trillingsmonitoringsysteem voor voorspellend onderhoud

Naam van de verantwoordelijke docent

Dariusz Buchczik en Roman Wyżgolik

Universiteit / Afdeling / Opleiding

Silesian University of Technology / Department of Measurements and Control Systems / Bachelor's Degree in Control, Electronic and Information Engineering (Bacheloropleiding Regeltechniek, Elektronica en Informatietechniek)

Cursus / Vak waarin geïmplementeerd

2e jaar / Measurement Systems (Meetsystemen)

Implementatieperiode (data)

21 mei 2026 – 25 juni 2026

Totale duur (weken/uren)

5 weken / 32 uur [16 lesuren + 16 uur zelfstandig werk door de studenten]

Aantal betrokken studenten

16 studenten

Alle resultaten die binnen ENVIHEI zijn ontwikkeld, zijn beschikbaar onder de licentie Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 4.0 Internationaal.

Medegefinancierd door de Europese Unie. De geuite standpunten en meningen zijn echter uitsluitend die van de auteur(s) en weerspiegelen niet noodzakelijk die van de Europese Unie of de Spaanse Dienst voor de Internationalisering van het Onderwijs (SEPIE). Noch de Europese Unie noch SEPIE kan daarvoor verantwoordelijk worden gesteld. [2024-1-ES01-KA220-HED-000246733]

1. Projectontwerp

1.1 Korte beschrijving van het project en de voorgestelde uitdaging

De pilot was opgebouwd rond realistische technische uitdagingen, waarbij de studenten onderzochten hoe meting en monitoring kunnen bijdragen aan een duurzame werking van machines en een verantwoord gebruik van onderhoudsmiddelen. De vier voltooide projecten gingen over resonantie en demping bij CNC-machines, trillingsmonitoring voor voorspellend onderhoud, toerentalmonitoring en trillingsdiagnostiek voor machinebescherming.

Duurzaamheid was een centraal element van elke uitdaging. De studenten bekeken de mogelijke ecologische en sociaaleconomische gevolgen van de werking en het onderhoud van machines, waaronder energieverbruik, materiaalverspilling, levensduur van apparatuur, operationele kosten en veiligheid op de werkplek. Ze onderzochten hoe monitoring en goed onderbouwde technische beslissingen kunnen bijdragen aan efficiënt gebruik van hulpbronnen, milieubescherming en het welzijn van werknemers en de bredere gemeenschap.

Het onderwijsdoel was de kennis uit de cursus te verbinden met problemen die de studenten binnen deze bredere duurzaamheidscontext konden definiëren, onderzoeken en verklaren. De teams moesten beslissingen nemen, oplossingen ontwikkelen en de technische, ecologische en sociaaleconomische relevantie ervan onderbouwen. Verslagen en presentaties boden de gelegenheid om over deze verbanden te reflecteren en te communiceren hoe meetsystemen duurzamere technische praktijken kunnen ondersteunen.

1.2 Verwachte leerresultaten (academische en transversale competenties)

De verwachte leerresultaten sloten aan bij de goedgekeurde cursusbeschrijving van de cursus Measurement Systems (Meetsystemen) aan de Silesian University of Technology (SUT). Van de studenten werd verwacht dat zij hun kennis van sensoren, data-acquisitie, meetsoftware en data-interpretatie integreerden om een praktisch technisch probleem aan te pakken. Ze moesten hun keuzes onderbouwen, beperkingen onderkennen en onderbouwde aanbevelingen formuleren.

De projecten beoogden ook zelfstandig leren, gezamenlijke planning, gedeelde verantwoordelijkheid, probleemoplossend vermogen, kritisch denken en technische communicatie te ontwikkelen. Duurzaamheid vormde een bredere context voor deze competenties en moedigde de studenten aan om na te denken over de ecologische en sociaaleconomische gevolgen van hun technische beslissingen.

De keuze van de projectonderwerpen en de reikwijdte van de uitvoering werden beperkt door de beschikbare laboratoriumapparatuur, de toegang tot gespecialiseerde software en het toegewezen aantal lesuren. Binnen deze beperkingen konden de studenten met de ontworpen opdrachten de leerresultaten van de cursus oefenen en tegelijk verkennen hoe meetsystemen duurzamere technische praktijken kunnen ondersteunen.

1.3 Beoogde duurzaamheidscompetenties

De pilot richtte zich op systeemdenken door verbanden te leggen tussen de toestand van apparatuur, operationele beslissingen, onderhoud, energieverbruik en materiaalverbruik. Hij stimuleerde kritisch denken over de vraag of een technische oplossing een geclaimd milieuvoordeel werkelijk ondersteunt. Probleemkadering hielp de studenten na te gaan waarom een meettaak ook buiten het laboratorium van belang is, terwijl toekomstgericht denken hen aanmoedigde om rekening te houden met de levensduur van apparatuur en toekomstige onderhoudsbehoeften.

Collectieve actie werd ondersteund door teamgebaseerd werk. Verantwoordelijkheid voor het milieu kwam aan bod via aandacht voor vermijdbare verspilling en onnodig gebruik van hulpbronnen. Deze verbanden sluiten aan bij de op GreenComp gerichte planning. Ze beschrijven de beoogde leerkansen en niet de gemeten verwerving van een formele competentiestandaard.

1.4 Duurzaamheidsbenadering en de manier waarop die in het project is geïntegreerd

Duurzaamheid was verankerd in de initiële uitdaging, de projectplanning, de interpretatie en de eindcommunicatie. De richtlijnen vroegen de studenten aandacht te besteden aan energieverbruik, efficiënt gebruik van hulpbronnen, levensduur van apparatuur en afvalvermindering. In de planning was een specifieke workshop voorzien voor de duurzaamheidsbeoordeling, waardoor reflectie over het milieu deel ging uitmaken van het projectproces.

Alle vier de projecten boden een praktische context om mogelijke milieuvoordelen te bespreken. Door ongewenst machinegedrag eerder te herkennen, kunnen voortijdige vervanging en materiaalverspilling worden vermeden. Beter onderbouwd onderhoud kan het gebruik van onderdelen en andere hulpbronnen verbeteren. Het vermijden van schadelijke bedrijfsomstandigheden kan de nuttige levensduur van gereedschap en apparatuur verlengen en verliezen door gebrekkige productiekwaliteit beperken. De studenten bekeken ook de mogelijkheid om onnodig energieverbruik te verminderen.

De bijdrage aan het milieu is van educatieve aard: de studenten moesten technische beslissingen in verband brengen met het behoud van hulpbronnen en aannemelijke trajecten naar milieuverbetering toelichten. Werkelijke energiebesparingen, vermeden afval of een verlengde levensduur van apparatuur werden niet gemeten. Dit blijven potentiële voordelen van de voorgestelde oplossingen.

Voor het onderwijs biedt deze aanpak een manier om duurzaamheid concreet te maken binnen een bestaande technische cursus. Milieuvragen kunnen naast technische vragen worden gesteld: Waarom is deze monitoring nodig? Welke hulpbronnen kunnen worden

bespaard? Welk bewijs zou een verbetering aantonen? Welke afwegingen zouden blijven bestaan?

1.5 Gebruikte methodologieën en instrumenten (PBL-structuur, facilitatietechnieken, enz.)

Er werd gebruikgemaakt van het studentgerichte PBL-kader van ENVIHEI, dat probleemonderzoek combineert met de uitvoering van een teamproject. Het geplande proces omvatte contextanalyse, teamorganisatie, zelfgestuurd onderzoek, experimenteren, interpretatie, presentatie en reflectie. De 5W1H-methode bood een structuur om een technisch probleem te verbinden met de gebruikers, de omgeving en de gevolgen ervan.

De beoogde rol van de docenten was het leren te faciliteren via sturende vragen, voortgangsbesprekingen en technische consultaties. De richtlijnen voor de studenten benadrukken dat docenten het onderzoek ondersteunen in plaats van een volledige oplossing aan te reiken. Uit de verslagen en presentaties blijkt dat de teams verschillende ontwikkelingstrajecten volgden en op praktische problemen stuitten die beslissingen vereisten.

De pilot liet ook flexibiliteit in de uitvoering toe. Eén team stelde een alternatieve softwarearchitectuur voor, die volgens het verslag door de docent werd goedgekeurd. Dit is een pedagogisch voorbeeld van hoe gemeenschappelijke leerdoelen behouden kunnen blijven terwijl de studenten kunnen voortbouwen op hun voorkennis en eigenaarschap over hun aanpak kunnen nemen.

1.6 Organisatie van het project (groepsvorming, tijdlijn, mijlpalen)

Vier teams van vier studenten voltooiden de pilot. De verantwoordelijkheden omvatten coördinatie, experimenteren, programmeren, interpretatie, documentatie en presentatie. De pilot maakte deel uit van de bredere cursus Measurement Systems (Meetsystemen) en werkte met teams die tijdens eerdere laboratoriumlessen waren gevormd. De studenten kozen hun rol binnen elk team vrij, wat vergemakkelijkt werd doordat zij elkaar al kenden van eerdere cursusactiviteiten.

De pilot was opgebouwd rond vier geplande bijeenkomsten. Elke bijeenkomst duurde vier lesuren van 45 minuten, wat overeenkomt met 180 minuten. Samen besloegen de bijeenkomsten 16 lesuren, oftewel 12 klokuren:

- De eerste bijeenkomst, op 21 mei 2026, stond in het teken van het begrijpen van het probleem, het vormen van teams, het vastleggen van verantwoordelijkheden en het plannen van het werk, inclusief duurzaamheidsdoelen.
- De bijeenkomst van 11 juni 2026 was gericht op het bespreken van de voortgang, het ontwikkelen van de systemen en het testen van ideeën. Feedback hielp de studenten om moeilijkheden te herkennen en aan te pakken.
- De bijeenkomst van 18 juni 2026 was gericht op het uitvoeren van metingen, het doorvoeren en testen van aanpassingen aan de systemen, het interpreteren van bewijs, het bespreken van duurzaamheid, het verfijnen van de voorgestelde oplossingen en het voorbereiden van de communicatie van de resultaten.
- De laatste bijeenkomst, op 25 juni 2026, was gewijd aan projectpresentaties, vragen en discussie. Ze bood ook de gelegenheid om over het leerproces te reflecteren en mogelijke verbeteringen te overwegen.

Tussen de bijeenkomsten door werkten de studenten zelfstandig in de laboratoria buiten de geplande sessies en thuis. Zo konden zij hun projecten onderzoeken, ontwikkelen en documenteren met behoud van gemeenschappelijke mijlpalen. De geschatte zelfstandige werklast bedroeg nog eens 16 lesuren, wat overeenkomt met 12 klokuren.

1.7 Van de studenten gevraagde opleveringen (soort, formaat, deadlines)

Elk team moest formeel een technisch verslag en een presentatie opstellen en beide uploaden naar het Onderwijsplatform van de Silesian University of Technology. In deze documenten werden ook de andere opleveringen van elk project beschreven, waaronder een meetapplicatie of code, meetgegevens en de analyse ervan, conclusies over duurzaamheid en ondersteunende technische documentatie. De planning vroeg

daarnaast om tussentijdse plannings- en voortgangsresultaten, waarbij de afronding van het project gepland was vóór 25 juni 2026.

Er werden vier technische verslagen en vier presentaties aangeleverd. Ze laten zien hoe de studenten hun problemen kaderden, hun bijdragen organiseerden en de milieurelevantie van hun werk toelichtten. Vanuit onderwijsperspectief creëerde de eis van zowel een verslag als een presentatie complementaire kansen voor schriftelijke toelichting, mondelinge communicatie en het beantwoorden van vragen.

1.8 Betrokken externe medewerkers (mentoren, bedrijven, experts …) en hun rol

De pilot werd begeleid door twee docenten. Naast hun ondersteuning konden de studenten een beroep doen op de expertise en praktische vaardigheden van ander academisch personeel binnen de afdeling, in overeenstemming met de regelingen die aan de SUT zijn toegestaan. Deze consultaties hielpen de studenten vooral om technische moeilijkheden op te lossen die zich tijdens de projectontwikkeling voordeden. Het projectontwerp voorzag niet in de betrokkenheid van experts van buiten de SUT.

De studenten maakten ook veelvuldig gebruik van online bronnen, waaronder AI-systemen van verschillende aanbieders. De combinatie van interne academische ondersteuning en zelfstandig geraadpleegde bronnen bleek voldoende om de projecten efficiënt af te ronden.

2. Projectevaluatie

2.1 Gebruikte beoordelingscriteria en -methoden

De richtlijnen voor de studenten legden beoordelingsgebieden vast op het vlak van probleemanalyse, technische uitvoering, meetkwaliteit, interpretatie, teamwerk, creativiteit, duurzaamheidsbewustzijn en kwaliteit van de presentatie. Deze brede reikwijdte erkent zowel de projectresultaten als het leerproces.

De geplande formatieve methoden omvatten voortgangsbesprekingen, consultaties en een tussentijdse presentatie. Het eindcijfer voor het project was gebaseerd op een

doorlopende individuele beoordeling van de voortgang van elke student tijdens de uitvoering van het project, samen met een beoordeling van de resultaten die tijdens een speciale slotsessie werden gepresenteerd. Tijdens deze sessie lichtte elke student zijn of haar individuele bijdrage aan het uitgevoerde werk en de behaalde resultaten toe. Na de presentaties en demonstraties volgden vragen, discussie en reflectie.

Alle 16 studenten behaalden voor het PBL-project het cijfer 5,0, wat overeenkomt met een A. Deze cijfers documenteren het beoordelingsresultaat, maar kwantificeren niet de tevredenheid van de studenten en geven ook geen aparte score voor ecologische redenering.

2.2 Bewijs van het leren van de studenten (voorbeelden, producten, resultaten)

Uit de verslagen en presentaties blijkt dat de studenten hun projecten konden verbinden met realistische bedrijfs- en onderhoudsproblemen. Ze documenteerden de taakverdeling, ontwikkelden oplossingen, bespraken moeilijkheden en communiceerden aanbevelingen. Dit ondersteunt een kwalitatieve beschrijving van leren door onderzoek en projectwerk.

In het project over resonantie en demping bij CNC-machines leverden een gedocumenteerde 5W1H-analyse en een goedgekeurde alternatieve uitvoering bewijs van probleemkadering en initiatief. De studenten legden verbanden tussen operationele keuzes en de standtijd van gereedschap, het behoud van apparatuur en minder verspilling.

In het project over trillingsmonitoring bood de vergelijking van verschillende meetkanalen kansen voor kritische interpretatie. De studenten legden uit hoe betrouwbare monitoring vroegtijdig ingrijpen kan ondersteunen en de nuttige levensduur van apparatuur kan verlengen.

Het project over toerentalmonitoring omvatte de integratie van verschillende systeemcomponenten, wat getuigde van planning en interdisciplinair

probleemoplossend vermogen. Het team besprak hulpbronnenefficiënt onderhoud en erkende daarbij uitdrukkelijk dat de mogelijke milieuvoordelen niet waren gemeten.

In het project over industriële trillingsdiagnostiek vereisten praktische integratieproblemen probleemoplossing en aanpassing. De studenten koppelden monitoring aan het voorkomen van schade aan apparatuur, minder voortijdige vervangingen en mogelijke energievoordelen.

Het sterkst gedocumenteerde duurzaamheidsresultaat is het vermogen van de studenten om uit te leggen hoe hun technische werk milieuverantwoordelijkheid en duurzaam gebruik van hulpbronnen kan ondersteunen. Het sterkst gedocumenteerde bewijs van transversale competenties is de totstandkoming van gezamenlijke resultaten met duidelijk omschreven verantwoordelijkheden.

3. Reflecties en aanbevelingen

3.1 Belangrijkste prestaties en sterke punten van het project

Een belangrijke prestatie was de succesvolle afronding van alle vier de teamprojecten, met 16 studenten, binnen de vereiste termijn en reikwijdte. De pilot leverde vier technische verslagen en vier presentaties op. De studenten toonden een sterke betrokkenheid en veel initiatief bij het ontwikkelen van hun oplossingen en het aanpakken van moeilijkheden. Het projectformat stimuleerde de betrokkenheid van de studenten en gaf hun de kans om verantwoordelijkheid te nemen voor hun werk.

Voor de docenten was het een belangrijke prestatie dat zij projecten konden uitvoeren die de studenten actief betrokken en tegelijk sterk technische en gespecialiseerde inhoud uit de goedgekeurde cursusbeschrijving verbonden met bredere duurzaamheidsvraagstukken. Ecologische en sociaaleconomische overwegingen werden rechtstreeks relevant voor technische beslissingen, onder meer over het gebruik van hulpbronnen, de levensduur van apparatuur en verantwoord onderhoud.

De uitvoering leverde ook praktische lessen op over cursusontwerp. Open problemen gaven de studenten ruimte om beslissingen te nemen en te onderbouwen.

Gemeenschappelijke mijlpalen ondersteunden zelfstandig werk terwijl de verantwoordelijkheid bij de studenten bleef. Expliciete duurzaamheidsvragen hielpen de studenten om verder te gaan dan het beschrijven van een apparaat en de bredere implicaties en het doel van hun oplossingen toe te lichten.

De verscheidenheid aan teamoplossingen toonde de waarde van flexibiliteit aan. Een gemeenschappelijke uitdaging en een gemeenschappelijk beoordelingskader boden ruimte voor verschillende instrumenten en uitvoeringswijzen, met behoud van de beoogde leerresultaten. Technische moeilijkheden creëerden kansen voor probleemoplossing, aanpassing en reflectie, wat bijdroeg aan zowel het technische leren als de ontwikkeling van transversale competenties.

Volgens de beoordeling van de docenten werden alle beoogde leerresultaten van de studenten bereikt. De pilot stelde de docenten ook in staat om in de praktijk een aanpak te testen die duurzaamheid integreert in studentgericht ingenieursonderwijs. Zowel de studenten als de docenten waren tevreden over de ervaring en zouden verdere kansen om projecten volgens deze aanpak uit te voeren verwelkomen.

3.2 Ondervonden uitdagingen en hoe die werden aangepakt

Een grote uitdaging voor zowel de studenten als de docenten was de aanpassing aan een ander model van onderwijzen en leren. De studenten moesten een actievere en zelfstandigere rol opnemen dan in conventionele laboratoriumlessen. Om hun opdrachten te voltooien was veel individueel werk nodig, waaronder informatie opzoeken, onbekende instrumenten leren gebruiken en binnen hun teams beslissingen nemen.

Door het open karakter van de projecten doken ook onverwachte problemen op. In traditionele laboratoriumlessen volgen de studenten doorgaans vaste procedures en herhalen zij opdrachten waarvan de praktische moeilijkheden de docenten al bekend zijn. Tijdens de pilot stuitten de teams naarmate hun oplossingen vorm kregen op uiteenlopende problemen met integratie, programmering en gegevensverwerking. Consultaties en voortgangsbesprekingen hielpen de studenten om hun aannames te

herzien, mogelijke oorzaken te onderzoeken en hun aanpak bij te stellen. Waar nodig konden de studenten ook ander academisch personeel binnen de afdeling raadplegen.

Voor de docenten was het begeleiden van vier projecten tegelijk veeleisend. Elk team had tijd en ondersteuning nodig om zijn eigen moeilijkheden aan te pakken, vooral technische problemen. De docenten moesten hun aandacht over de teams verdelen en op uiteenlopende behoeften inspelen, terwijl de verantwoordelijkheid voor het vinden en uitvoeren van oplossingen bij de studenten bleef. De ervaring onderstreepte het belang van voldoende lestijd voor consultatie en probleemoplossing.

Het technische karakter van de cursus Measurement Systems (Meetsystemen) bracht een extra verantwoordelijkheid met zich mee. De studenten gebruikten geavanceerde en uiteenlopende apparatuur, waardoor de docenten instructie moesten geven over het veilige gebruik ervan en gedurende alle projectactiviteiten veilige werkomstandigheden moesten waarborgen. Het ondersteunen van zelfstandig werk vroeg daarom om zorgvuldige aandacht voor zowel de technische voorbereiding van de studenten als de veiligheid van de taken die zij uitvoerden.

3.3 Geleerde lessen voor toekomstige implementaties

Toekomstige implementaties moeten realistische, open problemen en gefaseerde mijlpalen behouden, met een duidelijk onderwijsdoel voor elke fase. De projectactiviteiten moeten over een langere periode worden gespreid, zodat er voldoende tijd is om onbekende vraagstukken te onderzoeken, alternatieve oplossingen te verkennen, aanpassingen door te voeren en de resultaten met de docenten te bespreken. De planning moet ruimte laten voor herhaalde cycli van ontwikkeling, testen en verbetering.

Er moet afzonderlijk tijd worden voorzien voor gezamenlijke projectseminars en voor praktisch laboratoriumwerk. Gezamenlijke seminars moeten alle teams samenbrengen om de voortgang te presenteren, moeilijkheden te bespreken en ideeën uit te wisselen. Laboratoriumsessies moeten tijd bieden voor gericht technisch werk aan teamspecifieke en individuele taken. Dit onderscheid zou gezamenlijk leren ondersteunen en elk team

tegelijk de kans geven een eigen oplossing te ontwikkelen en passende gespecialiseerde begeleiding te krijgen.

Duurzaamheid moet gedurende het hele project zichtbaar blijven. Elk team zou bij de start een milieuvraag kunnen formuleren en daarop terugkomen bij de volgende mijlpalen en in de eindpresentatie. Waar mogelijk moet een meetbare indicator worden gekozen, zoals energieverbruik, materiaalverspilling of de behoefte aan vervanging van componenten. Waar rechtstreeks meten niet mogelijk is, moeten de studenten de verwachte voordelen en de onderliggende aannames toelichten en daarbij duidelijk onderscheid maken tussen aangetoonde resultaten en beweringen die verder bewijs vereisen.

De beoordeling moet naast technische prestaties ook samenwerking, reflectie en ecologische redenering erkennen. Korte reflecties bij elke mijlpaal, individuele verantwoording van bijdragen en peerfeedback kunnen helpen om deelname en teamwerk systematischer te documenteren. Vragenlijsten bij de start en aan het einde kunnen aanvullend bewijs leveren over de percepties en leerervaringen van de studenten. Korte observatie- en reflectienotities van de docenten na elke bijeenkomst kunnen bovendien vastleggen hoe de facilitatie zich ontwikkelde en wat de docenten van de uitvoering hebben geleerd.

De belangrijkste overdraagbare les is dat duurzaamheidsgerichte PBL in een bestaande technische cursus kan worden geïntegreerd via de kadering van problemen, het delen van verantwoordelijkheid en de bespreking van resultaten. Toekomstige implementaties moeten voldoende tijd bieden voor onderzoek en iteratie, het bewijs van het leerproces versterken en het professionele leren van de docenten explicieter maken.

4. Ondersteunend materiaal

4.1 Materiaal van de docenten en projectdocumentatie

Het materiaal van de docenten en de projectdocumentatie zijn beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/17cM8NyEdjpi4FwYH07LDK5MxBrr3g8_5?usp=drive_link

4.2 Opleveringen van de studenten, eindpresentaties of pitchmateriaal

Een voorbeeld van opleveringen van de studenten is beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/1FDPHH9ZBVinqMc7Go4RaJhYkZZ8xdytJ?usp=drive_link

De eindpresentaties van de studenten zijn beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/1X_3c6kIX8Pku893NCaFZGqUQza7sAlfV?usp=drive_link

4.3 Afbeeldingen/video's (met toestemming)

Foto- en video-opnamen werden gemaakt met de uitdrukkelijke toestemming van de deelnemende studenten en zijn beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/1xUVOtO5jqMOMnFe6d-RnIN-Ld2I1pqHT?usp=drive_link

4.4 Overig relevant materiaal

Al het materiaal, inclusief dit verslag, is beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/1riST68-HctqgagXeetOn2CgtPHDe5UWx?usp=drive_link