ENVIHEI

Titel van de PBL-uitdaging:

Ontwerp en ontwikkeling van slimme en duurzame geautomatiseerde systemen

Naam van de verantwoordelijke docent

Anna Korczak, Józef Wiora en Marcin Pacholczyk

Universiteit / Departement / Opleiding

Silesian University of Technology / Department of Computational Mechanics and Engineering / Bachelor's Degree in Industrial Automation and Robotics (Bacheloropleiding Industriële Automatisering en Robotica)

Cursus / Vak waarin geïmplementeerd

4e jaar / Projects in Technical Informatics (Projecten in Technische Informatica)

Implementatieperiode (datums)

1 maart 2026 – 30 juni 2026

Totale duur (weken/uren)

16 weken / 45 uur

Aantal betrokken studenten

18 studenten

Alle resultaten die binnen ENVIHEI zijn ontwikkeld, zijn beschikbaar onder 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 van de Spaanse Dienst voor de Internationalisering van het Onderwijs (SEPIE). Noch de Europese Unie noch SEPIE kan hiervoor verantwoordelijk worden gesteld. [2024-1-ES01-KA220-HED-000246733]

Erasmus+ Enriching lives, opening minds. Co-funded by the European Union

P. No.: 2024-1-ES01-KA220-HED-000246733

1. Projectontwerp

1.1 Korte beschrijving van het project en de voorgestelde uitdaging

De studenten werkten aan drie praktijkprojecten gericht op het toepassen van programmering, automatisering, computationele methoden en sensorgebaseerde technologieën om reële problemen aan te pakken. De voorgestelde uitdagingen waren:

- **Strength Calculator Project**: Een C++-softwaretool ontwikkelen om constructieve en mechanische berekeningen te automatiseren. De Strength Calculator behandelt vier fundamentele belastingsgevallen uit de sterkteleer: axiale trek, enkelvoudige buiging, torsie van cirkelvormige assen en de berekening van buigende momenten met de methode van Clebsch. De overkoepelende uitdaging was menselijke rekenfouten tot een minimum te beperken en de tijd die nodig is voor de statische analyse van constructie-elementen drastisch te verkorten.
- **Smart Dual-Action Plant Pot Project**: Een intelligent plantverzorgingssysteem dat is ontworpen om irrigatie en UV-verlichting autonoom te regelen op basis van realtime omgevingsdata. Het project wil het veelvoorkomende huishoudelijke probleem oplossen van planten die worden verwaarloosd door tijdgebrek of vergeetachtigheid. Het systeem was oorspronkelijk gepland voor een ESP32-microcontroller, maar werd met succes geïmplementeerd op een ATmega328p (Arduino-platform). Het maakt gebruik van een capacitieve bodemvochtsensor en een lichtintensiteitssensor om optimale groeiomstandigheden voor de plant te garanderen zonder handmatige tussenkomst
- **Automated Greenhouse Project**: Een volledig concept ontwikkelen voor een geautomatiseerde kas. Het systeem is ontworpen om de essentiële omgevingsomstandigheden voor optimale plantengroei zelfstandig te regelen, specifiek gericht op temperatuur, luchtvochtigheid en bodemvocht. Door dit systeem te implementeren wordt de noodzaak van handarbeid aanzienlijk verminderd, wordt de stabiliteit van het microklimaat verbeterd en krijgen gebruikers realtime monitoringmogelijkheden. Het systeem beheert automatisch de verwarming, irrigatie en ventilatie (bediening van de ramen) op

basis van realtime sensordata en werkt in een volledig automatische modus of in een modus met handmatige override.

Samen daagden deze projecten de studenten uit om hun technische en programmeerkennis toe te passen bij het ontwerpen van functionele oplossingen, waarbij theoretische concepten werden gecombineerd met praktisch probleemoplossen en technologische implementatie.

1.2 Verwachte leerresultaten (academische en transversale competenties)

De drie projecten boden studenten praktische, hands-on ervaring met het toepassen van theoretische kennis bij het ontwerpen, programmeren, implementeren en aansturen van technologische oplossingen. De belangrijkste ontwikkelde competenties waren:

- **Software-engineering**: C++-logica ontwikkelen in de Arduino IDE, sensorkalibratie implementeren, algoritmen met niet-blokkerende vertragingen (intervallogica) creëren, modulaire codearchitecturen ontwikkelen die eenvoudig uitgebreid kunnen worden, wiskundige logica en validatie implementeren om programmafouten te voorkomen (bijv. deling door nul), complexe theoretische fysica en mechanica vertalen naar werkende C++-code, en een dieper inzicht verwerven in de verbanden tussen fysische grootheden in de sterkteanalyse.
- **Elektronisch ontwerp**: 5V-logicacircuits veilig scheiden van actuatorcircuits met hoger vermogen met behulp van MOSFET-transistormodules en dubbele voedingen met een gemeenschappelijke massa beheren.
- **Mechanica & rapid prototyping**: Fysieke behuizingen en bevestigingen ontwerpen en vervaardigen met FDM-3D-printen (PLA-filament) en hydraulische componenten assembleren.
- **Industriële automatisering en besturingssystemen**: SCADA-visualisatiesystemen ontwerpen en implementeren (met SCADA Promotic) die gekoppeld zijn aan relationele databases; hardware van industriële kwaliteit (pneumatiek, contactoren, 4-20mA-sensoren) specificeren en integreren om

reële problemen op te lossen; en besturingslogica met dubbele architectuur ontwikkelen, waarbij industriële PLC's (Siemens LOGO!) worden vergeleken met educatieve microcontrollers (Arduino Mega).

- **Veiligheidstechniek**: Principes van veiligheidstechniek toepassen, zoals het gebruik van vast bedrade thermische beveiligingen en bistabiele pneumatische kleppen om catastrofale storingen bij stroomuitval te voorkomen.

1.3 Beoogde duurzaamheidscompetenties

De projecten zijn rechtstreeks gericht op ecologische duurzaamheid door in te zetten op het behoud van hulpbronnen en op duurzame computing- en engineeringpraktijken. Ze beperken waterverspilling tot een minimum door ervoor te zorgen dat de plant alleen water krijgt wanneer dat strikt noodzakelijk is, dankzij precieze bodemvochtsensoren en geautomatiseerde pompen voor opgevangen water. Door het fotosyntheseproces te optimaliseren met geautomatiseerde UV-verlichting verkleinen ze bovendien het risico op mislukte teelt, waardoor verspilling van grond, meststoffen en water door afstervende planten wordt voorkomen. De intelligente besturingslogica voor verwarming en ventilatie zorgt ervoor dat er alleen energie wordt verbruikt wanneer omgevingsparameters buiten het optimale groeibereik vallen. De projecten richten zich ook op de optimalisatie van materiaalgebruik door nauwkeurige berekeningen te leveren die materiële overdimensionering voorkomen, op green computing door code te optimaliseren en de benodigde rekenkracht te beperken, en op milieuveiligheid door de levenscyclus van producten te verlengen via nauwkeurige tests van mechanische grenzen.

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

Duurzaamheid werd in de drie projecten via verschillende benaderingen aangepakt:

- Het **Automated Greenhouse Project** verankerde duurzaamheid in de hardwareselectie en de operationele logica. Het systeem maakt gebruik van regen-/retentiewater via de pomp Omnigena WQ 180F, waardoor de afhankelijkheid van het leidingwaternet afneemt. De bodemsensoren op basis van FDR (frequentiedomeinreflectometrie) zijn bestand tegen corrosie door

meststoffen, wat zorgt voor operationele duurzaamheid op lange termijn zonder frequente vervanging van hardware. Ook energie-efficiëntie wordt aangepakt door bistabiele pneumatische kleppen (SMC SY5220-5LZD) te gebruiken die de raamstanden behouden zonder continu stroom te verbruiken.

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** pakte duurzaamheid aan met een intelligent bewateringssysteem op basis van drempelwaarden, dat ervoor zorgt dat de pomp alleen wordt geactiveerd wanneer het bodemvocht onder 30% daalt. Daarnaast voorkomt het gebruik van een capacitieve in plaats van een resistieve vochtsensor snelle galvanische corrosie, wat de levensduur van het apparaat sterk verlengt en elektronisch afval vermindert.
- Het **Strength Calculator Project** integreerde duurzaamheid via een "Green Computing"-filosofie. Door een tool te creëren die nauwkeurig werken op afstand mogelijk maakt (online functionaliteit), vermindert het project indirect de koolstofvoetafdruk die gepaard gaat met het pendelen naar fysieke testlabs of werkplekken. Bovendien draagt de hoge precisie van de tool bij aan veiligere en duurzamere mechanische ontwerpen die voortijdig falen voorkomen.

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

De projecten maakten gebruik van verschillende methodologieën en tools, afhankelijk van hun specifieke doelstellingen, waarbij collaboratieve engineering, software-engineering, modulaire systeemengineering, simulatie, prototyping en testbenaderingen werden gecombineerd:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** hanteerde een collaboratieve engineeringaanpak met duidelijk onderscheiden rollen voor elk teamlid. Belangrijke tools en componenten waren:
  - **Hardware**: ATmega328p-microcontroller, capacitieve bodemvochtsensor, lichtmodule MH-Sensor-Series, minipomp voor water, UV-led en XY-MOS-modules.
  - **Software**: Arduino IDE (C++) werd gebruikt voor het programmeren van de besturingslogica.

- **Testmethodologie**: Iteratieve prototyping op breadboard, droge/natte kalibratiefasen en langdurige stresstests van 24 uur.

- Het **Strength Calculator Project** steunde sterk op methodologieën uit de software-engineering, met name modulair programmeren in C++. Belangrijke technische tools en standaarden waren:
  - **Strikte standaardisatie van SI-eenheden**: Het verplichte gebruik van newton (N), millimeter (mm), megapascal (MPa) en newtonmillimeter (Nmm) om consistentie met de Eurocode-ontwerpnormen te waarborgen.
  - **Algoritmische implementatie van de methode van Clebsch**: Gebruik van het Clebsch-haakje (een voorwaardelijke stapfunctie) om de belastingstoestand van een volledige balk met één enkele wiskundige vergelijking te beschrijven, waardoor de traditionele opdeling in intervallen wordt vermeden.
- Het **Automated Greenhouse Project** hanteerde een ontwikkelingsmethodologie gericht op modulaire systeemengineering en simulatie. Belangrijke tools waren:
  - **SCADA Promotic**: Gebruikt voor het creëren van de gebruikersinterface, het visualiseren van het microklimaat in de kas en het bieden van een bedieningspaneel om te schakelen tussen handmatige/automatische modus.
  - **Hardwarespecificatie**: Een rigoureus selectieproces voor industriële componenten (Festo, Danfoss, Mean Well) op basis van bestendigheid tegen omgevingsinvloeden (IP65-classificatie, vochtbestendigheid).
  - **Besturingssystemen**: Geëvalueerd in twee sporen: een spoor volgens de industriële standaard (Siemens LOGO! 8 24CE) en een educatief spoor (Arduino Mega 2560 met Ethernet).

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

De projecten werden in samenwerking uitgevoerd door studententeams van verschillende grootte, waarbij de werklast werd verdeeld volgens de specifieke vereisten en technische domeinen van elk project:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** werd uitgevoerd door een team van vijf leden, met verantwoordelijkheden verdeeld over programmering, 3D-constructie, elektronica, mechanische en hydraulische assemblage, testen en documentatie.
- Het **Strength Calculator Project** werd in samenwerking uitgevoerd door een engineeringteam van zeven leden, waarbij de werklast werd verdeeld over conceptueel ontwerp, het creëren van algoritmen (zoals de specifieke module voor de Clebsch-functie), ontwerp van de gebruikersinterface en testen/validatie.
- Het **Automated Greenhouse Project** werd uitgevoerd door een team van zes leden, waarbij de werklast werd verdeeld over hardwarespecificatie, ontwerp van de SCADA-interface, programmering van de besturingslogica en documentatie van de systeemintegratie.

1.7 Van studenten gevraagde opleveringen (type, formaat, deadlines)

De projecten resulteerden in uiteenlopende technische en documentaire opleveringen, waaronder functionele prototypes en softwaretoepassingen, technische documentatie, projectrapporten, presentaties en systeemontwerpen:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** leverde een functioneel hardwareprototype op, gedocumenteerde C++-broncode voor de microcontroller, een elektrisch schema en een uitgebreid projectrapport waarin de test- en kalibratiefasen worden beschreven.
- Het **Strength Calculator Project** leverde met succes een functionele uitvoerbare C++-toepassing op met een intuïtieve grafische gebruikersinterface (GUI), een uitgebreid technisch rapport waarin de rekenstandaarden, modules en prestatie-indicatoren worden beschreven, en een presentatie die de kernfunctionaliteiten en ecologische aspecten samenvat.
- Het **Automated Greenhouse Project** leverde een uitgebreid technisch specificatiedocument op waarin de componentselectie en de bedradingsfilosofie worden beschreven, een ontwerp voor een volledig functioneel SCADA-visualisatiedashboard en een eindrapport van het project waarin de

operationele logica van het systeem en de mogelijkheden voor toekomstige uitbreiding worden toegelicht.

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

Bij deze implementatie waren geen externe partners betrokken.

2. Projectevaluatie

2.1 Gebruikte beoordelingscriteria en -methoden

De drie projecten werden beoordeeld volgens hun specifieke technische vereisten, waarbij de evaluatie gericht was op praktische validatie, nauwkeurigheid, technische grondigheid, veiligheid en functionaliteit:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** werd geëvalueerd via een rigoureuze praktische validatie in de beoogde omgeving. Een belangrijke beoordelingsmethode was de "Stresstest 24u", bedoeld om de stabiliteit van de hybride voedingsarchitectuur onder continue belasting te verifiëren zonder dat de microcontroller vastloopt of de MOSFET's oververhit raken.
- Het **Strength Calculator Project** werd getoetst aan handmatige analytische methoden. De evaluatiecriteria waren gericht op algoritmische nauwkeurigheid, uitvoeringssnelheid, foutafhandeling (validatie van invoer zoals negatieve traagheidsmomenten) en naleving van standaard engineeringkaders (SI-eenheden).
- Het **Automated Greenhouse Project** werd geëvalueerd op technische grondigheid, veiligheidsoverwegingen en de volledigheid van de automatiseringslogica. Belangrijke criteria waren onder meer het juiste gebruik van 4-20mA-signalen om spanningsval over lange kabeltrajecten te beperken, het opnemen van veiligheidsonderbrekingen op hardwareniveau (bijv. de Danfoss KP79-thermostaat) en de duidelijkheid en functionaliteit van de SCADA-interface.

2.2 Bewijs van het leren van studenten (voorbeelden, output, resultaten)

Succesvol probleemoplossen en leren blijkt uit het vermogen van de teams om technologieën aan te passen, logica te verfijnen, prestaties te verbeteren en technisch onderbouwde ontwerpbeslissingen te nemen:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project**: toonde succesvol probleemoplossend vermogen aan door van technologie te kunnen wisselen en de logica te verfijnen:
    - Met succes overstappen van een ESP32 naar een ATmega328p om aan te sluiten bij de 5V-logicavereisten van de sensoren en modules.
    - Problemen met toegangsrechten voor de seriële poort onder Linux overwinnen om de bootloader en de code met succes te flashen
    - Een "anti-inertie"-bewateringsalgoritme ontwikkelen.
- Het **Strength Calculator Project** toonde een succesvolle uitvoering aan via de prestatie-indicatoren van de toepassing. Vergelijkende tests toonden aan dat de Strength Calculator de rekentijd met meer dan 99% verkortte ten opzichte van traditionele handmatige methoden, met behoud van een perfecte reproduceerbaarheid van de resultaten bij variabele invoerparameters.
- Het **Automated Greenhouse Project** toonde succesvol probleemoplossend vermogen aan via de gedetailleerde componentspecificatie en het vermogen van de studenten om met succes een systeem te ontwerpen dat bestaat uit:

Subsysteem	Geselecteerde component	Technische verantwoording
Verwarming	Lighthouse 2kW & Danfoss KP79	Geforceerde circulatie voorkomt condensatie. Een vast bedrade thermostaat voorkomt oververhitting van de teelt bij 40°C.
Ventilatie	Festo DSBC-32-200 & SMC SY5220-5LZD	Pneumatische cilinders met bistabiele kleppen zorgen ervoor dat de ramen bij stroomuitval veilig op hun plaats blijven.
Irrigatie	Danfoss EV220B 15B & Omnigena WQ 180F	Magneetventielen en met een vlotterschakelaar beveiligde pompen voor veilig waterbeheer.

Sensoren	APAR AR252 & JXBS-3001-TR	De 4-20mA-lus voorkomt signaaldegradatie. Gesinterde filters en ingieting in hars beschermen tegen de zware omstandigheden in de kas.

3. Reflecties en aanbevelingen

3.1 Belangrijkste resultaten en sterke punten van het project

De projecten behaalden belangrijke resultaten door de ontwikkeling van praktische, efficiënte en innovatieve technologische oplossingen:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** toonde aan dat eenvoudige, goedkope elektronica (budget van ~30 PLN) zeer effectieve en betrouwbare geautomatiseerde systemen kan opleveren. De succesvolle implementatie van een bewateringscyclus met intervallen, die overstroming van de plant voorkomt, getuigt van een diepgaand inzicht in de dynamiek van fysische systemen.
- Het **Strength Calculator Project** realiseerde de innovatieve implementatie van het Clebsch-haakje in C++. Hierdoor kan het programma het buigend moment M(x) continu over de volledige lengte van een balk berekenen. Dit versnelt de statische analyse drastisch en biedt een stevige basis voor het genereren van diagrammen van inwendige krachten.
- Het **Automated Greenhouse Project** realiseerde een zeer robuuste, fouttolerante besturingsarchitectuur voor de kas. Dankzij de optie van besturing via twee sporen (Siemens LOGO! vs. Arduino) kan het concept worden aangepast voor zowel commerciële implementatie als educatieve toepassing. De SCADA-visualisatie biedt een intuïtieve, gebruiksvriendelijke interface die complexe sensordata bundelt tot bruikbare inzichten.

3.2 Ondervonden uitdagingen en hoe deze werden aangepakt

De projecten brachten verschillende technische uitdagingen met zich mee, die werden aangepakt via praktisch probleemoplossen en passende ontwerpbeslissingen:

- Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** stuitte op twee grote uitdagingen:

- **Beheer van de vermogensbelasting**: Actuatoren (pomp, UV-led) trekken te veel stroom voor een microcontroller. Het team loste dit op door een geïsoleerd voedingscircuit te creëren met XY-MOS-transistormodules.
- **Systeeminertie**: Water heeft tijd nodig om in de grond te sijpelen en de sensor te bereiken, waardoor de pomp aanvankelijk te lang draaide en de plant overstroomde. Het team implementeerde bewatering met intervallen (3 seconden pompen gevolgd door 5 seconden rust), zodat het water kan worden opgenomen en de sensor kan stabiliseren voordat wordt beslist of er meer water nodig is.

- Het **Strength Calculator Project** stond voor de grote uitdaging om het complexe, stuksgewijze karakter van balkanalyse te digitaliseren. Het team pakte dit met succes aan door een aangepaste logische functie te programmeren die haakjestermen automatisch op nul zet wanneer het argument (x-a) negatief is. Deze voorwaardelijke logica bootst de analytische methode van Clebsch perfect na en zorgt voor nauwkeurige waarden in tussenliggende punten van de balk.
- Het **Automated Greenhouse Project** stond voor aanzienlijke hardware-uitdagingen bij het ontwerpen voor een zeer vochtige, mogelijk corrosieve agrarische omgeving. Het team pakte dit aan door bewust te kiezen voor componenten van industriële kwaliteit: capacitieve FDR-bodemsensoren in plaats van snel corroderende resistieve sensoren, behuizingen met IP65-classificatie en 4-20mA-stroomlussen voor betrouwbare analoge signaaloverdracht over lange afstand.

3.3 Lessen voor toekomstige implementaties

Het **Smart Dual-Action Plant Pot Project** toonde het belang aan van de componentkeuze in zware omstandigheden (bijv. het gebruik van capacitieve sensoren om elektrolyse in de grond te voorkomen). In toekomstige iteraties zou het project zijn IoT-mogelijkheden kunnen uitbreiden door opnieuw Wi-Fi-functionaliteit te integreren (bijvoorbeeld met de ESP32 zoals oorspronkelijk gepland, maar met geschikte logische niveauomzetters) voor monitoring op afstand via een webdashboard.

Het **Strength Calculator Project** toonde aan dat de modulaire structuur een zeer doeltreffende ontwerpkeuze was. Voor toekomstige iteraties beveelt het team aan de huidige toepassing te gebruiken als rekenengine die kan worden uitgebreid met modules voor vermoeiingsanalyse en structurele stabiliteit (knik). Daarnaast is er potentieel om deze engine te koppelen aan geavanceerdere GUI-frameworks.

Het **Automated Greenhouse Project** toonde aan dat het basisontwerp sterk modulair is, wat meerdere mogelijkheden opent voor toekomstige verbeteringen. Voor toekomstige iteraties omvatten de geplande implementaties de ontwikkeling van een speciale mobiele app voor bediening op afstand en realtime monitoring, de implementatie van historische datalogging om microklimaattrends op lange termijn te analyseren, de integratie van alarmsystemen voor kritieke gebeurtenissen (bijv. pompstoring, extreme temperaturen) en de toevoeging van waterniveausensoren, lichtintensiteitssensoren en geautomatiseerde systemen voor aanvullende plantbelichting.

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/1bH_gyWJLXF3JNfLPTuDmviE-6Q9kIzx6?usp=drive_link

4.2 Door studenten geproduceerde opleveringen, eindpresentaties of pitchmateriaal

Een voorbeeld van door studenten geproduceerde opleveringen is beschikbaar via de volgende link:
https://drive.google.com/drive/folders/1yqQtFAqNGo6Xg6JoVg47F4F8QdFFDw7z?usp=drive_link

De eindpresentaties van de studenten zijn beschikbaar via de volgende link:

https://drive.google.com/drive/folders/1hg6rp6XcuOSeGTOhn68S9s-vvt5u3UIy?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/1IHPRfaj88KLxRsvGqRjCOeM0fnBQxLCc?usp=drive_link

4.4 Overig relevant materiaal

Al het materiaal, inclusief dit rapport, is beschikbaar via de volgende link: https://drive.google.com/drive/folders/1qGPSzd5J-A0DyTS82zYHQJWIjfXvB21u?usp=drive_link