



Digitalisering af forskning og undervisning på DTU Kemiteknik

Digitalisering er et af de tre hovedmål i Danmarks Tekniske Universitets (DTU) strategi 2020-2025 og er derfor også et vigtigt fokusområde på DTU Kemiteknik (DTU KT).

Af Jochen A.H. Dreyer¹, Mark N. Jones², Julian Kager¹, Steen Larsen¹, John M. Woodley¹, Kim Dam-Johansen¹ og Jakob K. Huusom¹

¹ DTU Kemiteknik

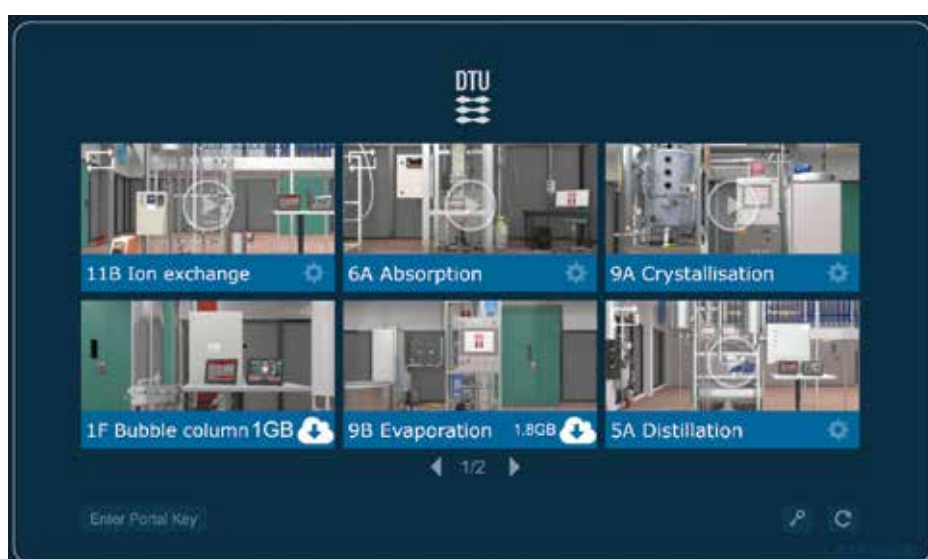
² Molecular Quantum Solutions ApS

Vi er midt i den fjerde industrielle revolution, og vigtigheden af data er støt stigende. Samtidig vinder nye digitale værktøjer til undervisning indpas. Denne tendens blev forstærket under covid-19-pandemien, men går langt ud over onlineforelæsninger eller videopræsentationer.

DTU KT's faciliteter og pilotanlæg tilbyder et ideelt miljø til at udvikle og verificere effekten af nye værktøjer inden for digitalisering i grænsefladen mellem laboratorieforskning og industrielle processer. Faciliteterne anvendes til både forskning og uddannelse. Disse unikke pilotfaciliteter har udviklet

sig gennem årtier og omfatter mange traditionelle enhedsoperationer inden for

kemi, bioteknologi, fødevarer, medicin og energi (for eksempel membran,



Figur 1. Startskærmen for present4D-appen viser her seks af de i alt otte enhedsoperationer, som Pilot Plant VR-miljøet er tilgængeligt for.



visning i DTU KT's pilotanlæg. Digitaliseringsprojektet er initieret med tre hjørneste, og artiklen er struktureret herefter: virtual reality til undervisning; webbaserede brugergrænseflader til drift af enhedsoperationer; samt datalagring og databehandling.

Virtual reality til undervisning

Målet med Pilot Plants virtual reality-miljø (VR) har været at supplere det fysiske miljø med tidssvarende anvendelse af digitale værktøjer til brug i uddannelsen af næste generation af kemiingeniører. Værktøjerne kan effektivisere de studerendes forberedelse til de praktiske øvelser og guide dem gennem processen med at betjene de enkelte enhedsoperationer. Resultatet er en bedre visuel



Figur 2. Skærbillede fra Pilot Plant VR-miljøet til Destillation i Bubble-Cap Tray Column-enhedsdrift.

destillation, absorption, tørring, krystallisationsprocesser etc.).

Senest er der i forbindelse med projektet Fermentation based Bio Manufacturing (finansieret af Novo Nordisk Fonden) etableret moderne pilotanlæg til opskalering og test af fermenteringsprocesser og de tilhørende oprensningsprocesser. Det inkluderer et dedikeret GMO Klasse I storskala pilotanlæg til arbejde med genetisk modificerede organismer.

Data fra de >30 forskellige enheder udgør et betydeligt potentiale for nye anvendelser, såfremt de behandles og lagres optimalt, og nye digitale undervisningsværktøjer giver helt særlige muligheder for at optimere læringsmiljøet. Formålet med denne artikel er at opsummere resultater fra arbejdet igennem de seneste to år med henblik på at digitalisere dele af forskning og under-

forståelse af udstyr, procedurer, analyser og sikkerhedsaspekter.

Et skærbillede af VR-startskærmen kan ses i figur 1. VR består af 360° billeder, interaktive knapper og indlejrede instruktionsvideoer og animationer. Vores projektpartner MediaMedic ApS skabte 3D-modeller af vores proceshaler og flere enhedsoperationer. Disse modeller blev derefter brugt til at skabe og gengive animationer og 360° billeder (figur 2). Dette indhold kombineres med videooptagelser og lydinstruktioner og er struktureret til at følge de nødvendige trin for at gennemføre de praktiske øvelser.

Pilot Plant VR-miljøet er frit tilgængeligt, og den interesserede læser er velkommen til at prøve det. Man skal blot downloade Present4D-applikationen fra <https://present4d.com/en/download/> eller

app-butikken på en mobilenhed. Når applikationen kører (figur 1), skal man indtaste portalnøglen tyj-qjn og downloade VR-miljøet til enhedsoperationerne af interesse. Yderligere information kan findes i en nylig publikation [1].

Webbaserede brugergrænseflader til procesdrift

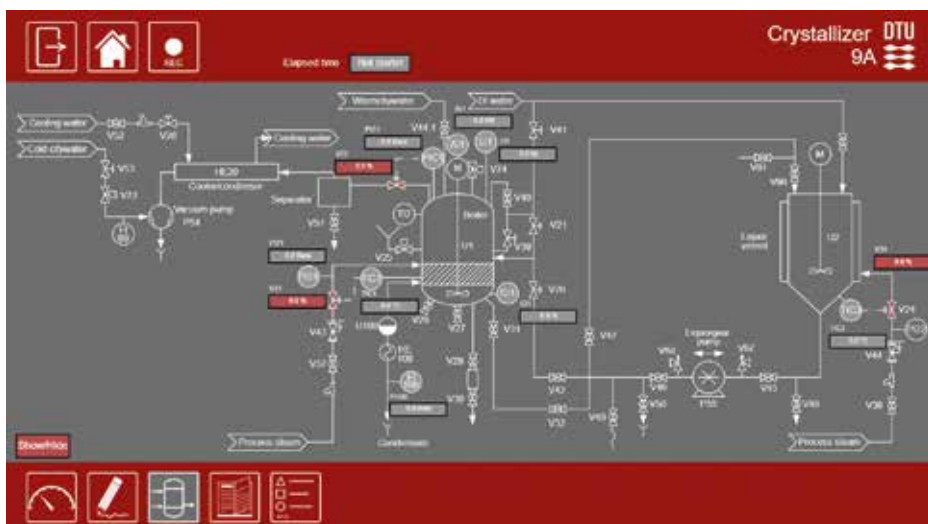
Traditionelt foregår driften af vores eksperimentelle opstillinger via et lokalt kontrolpanel eller en computer. Brugergrænsefladen var et internt udviklet LabVIEW-program eller noget software leveret af leverandørerne af de enkelte anlæg.

Sådan en traditionel digital infrastruktur har flere ulemper. Operatøren skal gøre sig bekendt med en bred vifte af brugergrænseflader. Alle data, der registreres under eksperimenterne, vil kun blive gemt lokalt, og dataanalyse kræver betydelig forbehandling på grund af forskellige filstrukturer og formater. Selv hvis alle de genererede data ville blive indsamlet, ville nyten være begrænset, da afgørende information om eksperimentet kun registreres i analoge laboratorie-notesbøger.

Den nye digitale infrastruktur udviklet i Pilot Plant erstatter det lokale kontrolsystem med et state-of-the-art styrings- og dataindsamlingssystem (SCADA, se figur 3, side 8). Helt konkret udveksler alle enheder, der er en del af SCADA, data med en central server, der anvender WinCC Unified (Siemens). De brugergrænseflader, der genereres i WinCC Unified, er tilgængelige via en webbrowser, så enhederne kan betjenes fysisk i pilot-hallerne fra en håndbåren "tablet", mens de også overvåges fra en kontor-pc. Layout af brugergrænsefladen er identisk for alle enheder. Hver enhed har en dedikeret "fane" til registrering af metadata, dvs. enhver information, der ellers ville være skrevet i en analog laboratorie-notesbog. Alle data (målinger, styresignaler, metadata) sendes automatisk til en centraliseret "server/cloud" gennem en IoT gateway (vNode) og gemmes i en SQL-database. Data kan efter endte eksperimenter ekstraheres i for eksempel CSV-format til brug i Excel eller anden databehandlingssoftware.

Datalagring og behandling

For at udvikle en skalerbar og /fremtids-sikret "data science" infrastruktur for vores forsknings- og øvelsesdata fra Pilot Plant, har vi etableret en dedikeret server som central "data lake" [2]. For kort at opsummere nogle af de tekniske detaljer, så er serveren af typen Kuber-



Figur 3. Interaktivt skærbillede fra den nyudviklede webbaserede SCADA-brugergrænseflade. Eksemplet viser fanen P&ID i Citric Acid Crystallizer.

netes (K8s) og alle softwareapplikationer organiseres i Docker-containere. Brugeradministration og softwareimplementering udføres gennem GitLab.

Data er nøglen til at kunne anvende avanceret programmer til at opbygge forståelse for processerne (for eksempel maskinlæring, kunstig intelligens, procesoptimering, osv.), og korrekt datalagring til fremtidig brug er derfor yderst vigtig. Projektet har derfor haft særlig fokus på udviklingen af SQL-databasen og strukturen af de indbyrdes forbundne tabeller til kategorisering af data. I sin nuværende form består databasen af 12 tabeller med visse gensidige relationer. Denne struktur muliggør avanceret søgning af data på tværs af udstyr eller eksperimenter.

Data kan herefter anvendes på alle tænkelige måder. For eksempel Grafana

kan bruges til avanceret datavisualisering, Python-scripts kan udvikles i JupyterHub til at analysere data, automatisere eksperimenter eller anvende kunstig intelligens gennem KubeFlow. Det er selvfølgelig også muligt at udvikle dedikerede programmer/applikationer såsom digitale tvillinger.

Konklusioner og udsigter

I løbet af de seneste to år er der sket store fremskridt i digitaliseringen af Pilot Plant-faciliteterne på DTU KT. Virtual reality-plattformen er blevet godt modtaget af vore danske og internationale studerende (figur 4). I løbet af de kommende måneder vil det didaktiske udbytte af det nye VR-miljø blive evalueret, for eksempel til vurdering af om de studerende i praksis er bedre forberedte, når de skal udføre deres praktiske

eksperimenter, om der kræves mindre lærersupervision under øvelserne og om de studerende opnår en dybere forståelse af den enkelte øvelse.

SCADA-brugergrænsefladen er i fuld drift og blev også godt modtaget (figur 4). De studerende sætter pris på at arbejde med en intuitiv og moderne brugergrænseflade på en "tablet". Fordelene ved at have et centralt datalager og en webbaseret brugergrænseflade har allerede vist sig.

Serveren til data er klar til brug, og tiden vil vise, hvordan forskellige studerende og forskere vil bruge indholdet. Der er nu enestående muligheder for at akkumulere data til en stadig dybere forståelse af kemiske enhedsoperationer.

Endelig vil nye veje relateret til digitalisering blive udforsket i fremtiden. For eksempel kunne de genererede 3D-modeller af nogle enhedsoperationer bruges til mere interaktive virtuelle eksperimenter eller "gamification" af øvelserne. Selvstudier er ved at blive konfigureret for at lette instruktionen til anvendelse af data, og nogle af værktøjerne (SQL, Python osv.) kan snart blive integreret i undervisningen. Nye værktøjer til udvikling af virtuelle laboratorier eller -udflugter udforskes også baseret på avancerede 3D 360°-fotos og -videoer, eksempler kan findes i fotosektionen på DTU KT's Google Maps-side.

Pilot Plant er opsat på at indlede samarbejder inden for digitalisering med industrielle og akademiske partnere, så tag endelig kontakt, hvis denne artikel fangede din interesse.

Sponsorer

Tak for økonomisk støtte fra Novo Nordisk Fonden som en del af Fermentation-based Biomanufacturing Initiative (FBM), bevillingsnummer: NNF17SA0031362.

E-mail:

Jochen A.H. Dreyer: jodre@kt.dtu.dk

Referencer

1. DE Carberry, K Bagherpour, C Beenfeldt, JM Woodley, SS Mansouri, MP Andersson (2023) A roadmap for designing eXtended reality tools to teach unit operations in chemical engineering: Learning theories & shifting pedagogies, Digital Chem. Eng., 6, 100074.
2. MN Jones, M Stevnsborg, RF Nielsen, D Carberry, K Bagherpour, SS Mansouri, S Larsen, KV Gernaey, JAH Dreyer, J Woodley, JK Huusom, K Dam-Johansen (2022) Pilot Plant 4.0: A review of digitalization efforts of the Chemical and Biochemical Engineering Department at the Technical University of Denmark (DTU), Comput.-Aided Chem. Eng., 49, 1525-1530.



Figur 4. To Summer University-studerende fra University of Alabama betjener Citric Acid Crystallizer, mens de har adgang til VR-miljøet og SCADA-brugergrænsefladen via to tablets.