

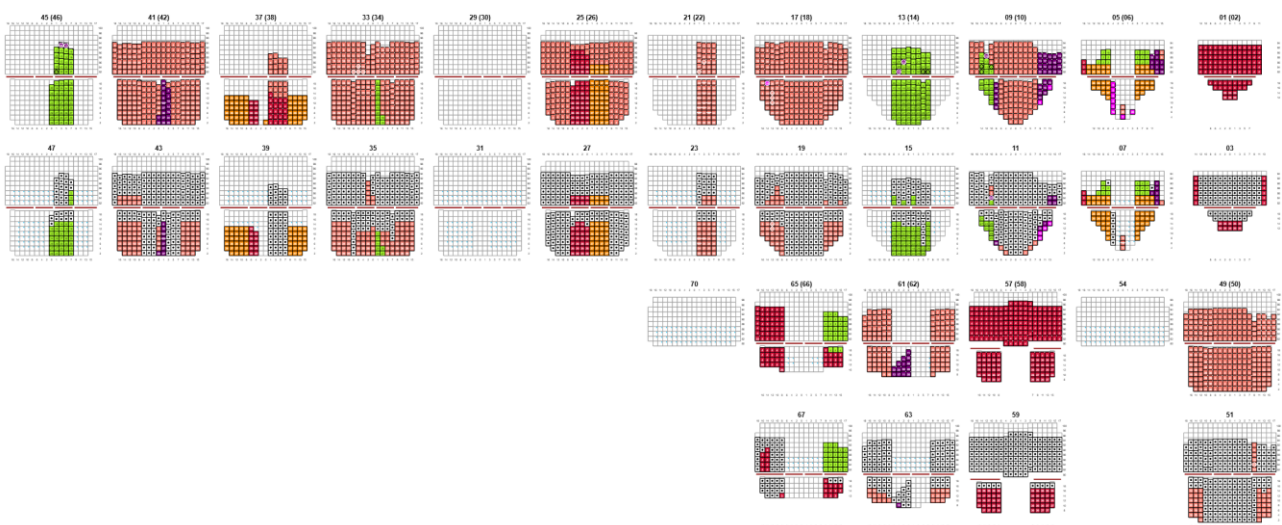
Afsluttende Statusrapport for Projekt nr. 2021-069: "Stuvningsalgoritmer og AI-Metoder til Maksimering af Containerskibes Kapacitet og Fragtindtægter"

Formål

Projektets formål er at udføre forskningsaktiviteter, der kan løse nogle af de datalogiske problemer, der har vist sig at være mest udfordrende i praksis i forbindelse med udvikling af avancerede algoritmer og AI-metoder til automatisering af stuvningsplanlægning og stuvnings-baseret revenue management.

Der er behov for denne forskning da stuvningsplaner er vanskelige at beregne og mere end 35% af containerrederierne inklusiv de danske rederier Maersk og Unifeeder i dag har et strategisk fokus på at automatisere stuvningsprocessen af deres skibe.

En stuvningsplan angiver, hvor hver container, der skal lastes på skibet, skal placeres således, at dets kapacitet udnyttes bedst muligt samtidig med, at dets operationelle omkostninger minimeres (se eksempel nedenfor). Stuvningsplaner er vanskelige at beregne på grund af komplekse stuvnings- og sødygtighedsregler. Datalogisk tilhører stuvningsoptimering klassen af såkaldte NP-hårde problemer. Dette betyder i praksis, at der skal udvikles specialalgoritmer til at beregne stuvningsplaner effektivt. Standardmetoder er ikke hurtige nok.



Eksempel på en stuvningsplan for et større containerskib.

Værdien af automatisk stuvningsplanlægning er til gengæld langt højere end den umiddelbare operationelle besparelse. Grunden er, at salgsfolk hermed får et værktøj til at prioritere kontrakt- og spotfragt, der udnytter skibenes kapacitet bedst og giver det højeste afkast. Pilotprojekter har vist et potentiale til at øge indtjeningen på en given flåde med 5-10%.

Forløb og Resultater

Projektansøgningen blev godkendt af den Danske Maritime Fond den 4. oktober 2021, og IT Universitetet ansatte 1. april 2022 Jaïke van Twiller som ph.d.-studerende knyttet til projektet.

Projektets aktiviteter og resultater har været som følger:

Q2 2022 – Q1 2023

- 1) Jaïke udviklede AI-metode til master stuvning baseret på en reinforcement learning metode, som han præsenterede til ICCL 2022 den 22. september 2022 [1].
- 2) Sammen med to ITU-studerende master studerende præsenterede Jaïke også et paper om kranaktivitet til ICCL 2022 [2].
- 3) På grund af det manglende overblik over forskning i stuvningsalgoritmer skrev vi en surveyartikel i samarbejde med Dario Pacino, Assoc. Prof. DTU, og Agnieszka Sivertsen, ph.d.-studerende RUC [3].

Q2 2023 – Q1 2024

- 1) Jaïke arbejdede videre med sin reinforcement learning algoritme til master stuvning og præsenterede sit arbejde til ICCL 2023 [4], EURO 2024 [5] og Odysseus 2024 [6].
- 2) I forbindelse med vores samarbejde med Agnieszka fandt vi en ny simpel integer programming model for master stuvning, som blev præsenteret til ICCL 2024 [7].
- 3) Vi oprettede SPARC, Stowage Planning Algorithms Research Center, hvor vi samler benchmarks og beskrivelser af stuvningsproblemet, så andre forskere har let adgang til problemet.

Q2 2024 – Q2 2025

- 1) I foråret 2024 var Jaïke på udlandsophold på HEC Montréal i Canada. Den forskningsgruppe, han besøgte, har stor erfaring i at bruge AI-metoder til stokastisk optimering. Det var derfor naturligt for Jaïke at dreje sit forskningsarbejde i den retning og undersøge profitmaksimerende stuvningsplanlægning med stokastiske fragtmængder. Hans arbejde blev præsenteret ved Nordic Maritime Universities Workshop 2024 [8].
- 2) Jaïkes PhD-forsvar blev godkendt den 2. juni 2025.

Refleksioner og Videre Arbejde

Den Danske Maritime Fonds støtte til dette projekt har vist, at AI-metoder som reinforcement learning kan anvendes til automatisering af stuvningsplanlægning. Specielt er AI-metoder gode til at håndtere stokastiske godsmængder og fragtrater, hvilket er den normale situation i praksis.

AI-metoder er omvendt knap så gode til at håndtere komplekse stuvningsregler. Vi mener derfor, at AI skal kombineres med klassiske optimeringsmetoder i hybride modeller.

I det videre arbejde ser vi af den grund på at kombinere Jaikes reinforcement learning teknikker med Agnieszka Sivertsens large neighborhood search (LNS). Agnieszka afsluttede i 2025 en erhvervs-phd i samarbejde med Sealytix og RUC. Hendes LNS-algoritme er nært beslægtet med Sealytix' professionelle stuvningsalgoritme CAPSIM.

Jaike har forsat sit arbejde i en PostDoc på ITU med støtte fra den Danske Maritime Fond og har indtil videre præsenteret sine resultater ved ICCL 2025 [9] og EURO 2025 [10].

Referencer

- [1] van Twiller, J., & Jensen, R. M. (2022). *Deep Reinforcement Learning for Master Bay Planning on Container Vessels*. Abstract fra International Conference on Computational Logistics 2022, Barcelona, Spanien. https://eventum.upf.edu/_files/_event/_78123/_editorFiles/file/BOA2022.pdf.
- [2] Herup, M. O., Thiesgaard, G. C. W., van Twiller, J., & Jensen, R. M. (2022). A Linear Time Algorithm for Optimal Quay Crane Scheduling. I *International Conference on Computational Logistics: Lecture Notes in Computer Science* (Bind 13557, s. 60–73). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16579-5_5.
- [3] van Twiller, J., Sivertsen, A., Pacino, D., & Jensen, R. M. (2023). Literature survey on the container stowage planning problem. *European Journal of Operational Research*, 317(3), 841-857. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.12.018>.
- [4] van Twiller, J., Grbic, D., & Jensen, R. M. (2023). Towards a Deep Reinforcement Learning Model of Master Bay Stowage Planning. I J. R. Daduna, G. Liedtke, X. Shi, & S. Voß (red.), *ICCL 2023: Computational Logistics* (Bind 14239, s. 105-121). Artikel 6 Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43612-3_6.
- [5] van Twiller, J., Grbic, D., & Jensen, R. M. (2024). *PPSTOW: An End-to-End Deep Reinforcement Learning Model for Master Stowage Planning on Container Vessels*. Abstract fra 33rd European conference on Operational Research, Lyngby, Danmark.

- [6] van Twiller, J., Grbic, D., & Jensen, R. M. (2024). Deep Reinforcement Learning for Master Stowage Planning. I *ODY SSEUS 2024: International Workshop on Freight Transportation and Logistics* (9th udg.).
- [7] van Twiller, J., Sivertsen, A., Jensen, R. M., Andersen, K. H., Garrido, A. (red.), Paternina, C. (red.), & Voß, S. (red.) (2024). An Efficient Integer Programming Model for Solving the Master Planning Problem of Container Vessel Stowage. I *Computational Logistics* (Bind 15168, s. 236-253). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71993-6_16
- [8] van Twiller, J., Adulyasak, Y., Delage, E., & Jensen, R. M. (2025). Deep Reinforcement Learning for Revenue Management under Uncertainty in Master Stowage Planning on Container Vessels. I *25th DNV Nordic Maritime Universities Workshop* (s. 63).
- [9] Twiller, J. V., Grbic, D., & Jensen, R. M. (2025). An ML-Driven Large Neighborhood Search Framework for Container Vessel Stowage Planning. I *Book of Abstracts ICCEuroMar2025 conference*.
- [10] Twiller, J. V., Grbic, D., & Jensen, R. M. (2025). AI-Driven Neighborhood Selection in Large Neighborhood Search for Representative Container Vessel Stowage Planning. I *Book of Abstracts EURO 2025 Leeds conference*.