

Samenvatting genomineerd project voor de Huibregtsenprijs 2018

Naam project: Service Logistics for Advanced Capital Goods (NWO-TOP project)
Looptijd: 1 juli 2013-28 februari 2018
Projectleider: prof. dr. ir. G.J. van Houtum (Geert-Jan), Technische Universiteit Eindhoven
Medewerkers: dr. H. Peng (UD), dr. T. Tan (UHD), dr. J. Arts (postdoc/UD), J. Driessen (PhD student), E. van Wingerden (PhD student), M. van Aspert (PDEng trainee), W. Fleuren (PDEng trainee), R. Bakker (PDEng trainee), N. Javanmardi (PDEng trainee)
Partners: ASML, Nederlandse Spoorwegen

Samenvatting

(Aantal woorden: 990)

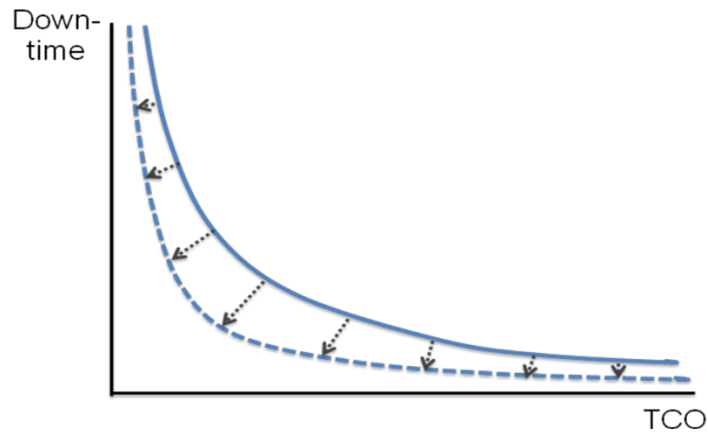
Kapitaalgoederen worden gebruikt door producenten/dienstverleners om hun eindproducten/diensten voort te brengen. Kapitaalgoederen hebben een levenscyclus bestaande uit de fasen Definitie, Ontwerp, Productie, Gebruik, Afstoting. In dit project hebben we ons gericht op geavanceerde kapitaalgoederen zoals treinen, lithografiesystemen, medische systemen, en vliegtuigen. Deze kapitaalgoederen zijn technisch complex, ze zijn duur, en ze hebben een lange levensduur (typisch 20-40 jaar). Gebruikers zijn sterk afhankelijk van hun beschikbaarheid, en dus is stilstand erg duur. De gebruiker kijkt naar de volgende criteria bij de aanschaf van nieuwe systemen:

- **Total Cost of Ownership (TCO):** Dit betreft alle kosten voor de gebruiker tijdens de gehele levenscyclus. Een gebruiker betaalt voor de aanschaf van een nieuw systeem, de onderhoudskosten gedurende de gebruiksfase, en de kosten voor afstoting. Als de gebruiker een lease-constructie aangaat, dan verlopen de betalingen anders, maar uiteindelijk betaalt de gebruiker voor dezelfde kostenposten.
- **Systeembeschikbaarheid/Systeem-stilstand:** De systeembeschikbaarheid is de fractie van de tijd dat een systeem beschikbaar is voor het uitvoeren van haar functie tijdens de geplande gebruiksuren. Systeem-stilstand is de fractie van de gebruiksuren dat het systeem kapot is (= 1 minus de systeembeschikbaarheid).

Iedere gebruiker streeft naar een lage TCO in combinatie met een hoge systeembeschikbaarheid/lage systeem-stilstand. Op die manier krijgt men een efficiënte en betrouwbare operatie voor de producten/diensten die men zelf voortbrengt.

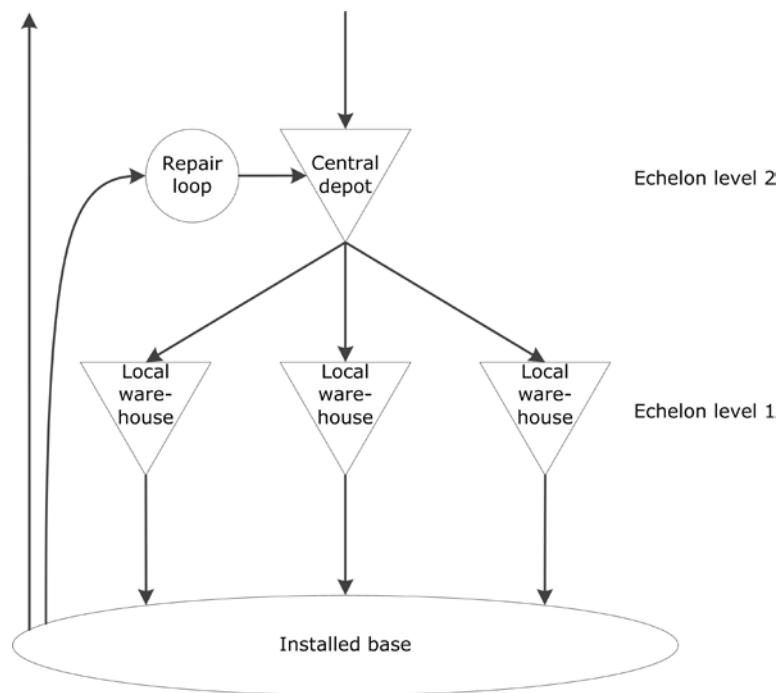
Bij geavanceerde kapitaalgoederen bestaat slechts een beperkt deel van de TCO uit de aanschafkosten. Bijvoorbeeld, één Joint Strike Fighter (F-35) kost pakweg 100 miljoen Euro, maar vervolgens zijn alleen de onderhoudskosten gedurende de lange gebruiksfase al drie keer zo hoog. Om de TCO laag genoeg te houden is het belangrijk dat het onderhoud wordt uitgevoerd door partijen die veel systemen in onderhoud hebben. Zulke partijen kunnen de benodigde kennis opbouwen en kunnen efficiënter zijn m.b.t. service engineers, reserve-onderdelen, en de benodigde specialistische gereedschappen en apparatuur voor onderhoud. Bij de NS, waar men zelf veel treinen in omloop heeft, kan dit worden gerealiseerd door een eigen onderhoudsafdeling. Voor lithografiesystemen van ASML wordt dit gerealiseerd door ASML zelf. ASML sluit bij ieder verkocht systeem een *full service contract* af en wordt daarmee verantwoordelijk voor het onderhoud. In zo'n contract worden harde eisen gesteld t.a.v. de systeembeschikbaarheid. Een semiconductorfabriek lijdt namelijk veel schade bij stilstand van een lithografiesysteem (70-100 k-Euro per uur stilstand). Ook bij de NS zijn de kosten van niet-beschikbare treinen hoog.

In het algemeen dient men een balans te vinden tussen TCO en systeem-stilstand. Dit wordt weergegeven door de doorgetrokken kromme in Figuur 1. Waar we in dit project aan gewerkt hebben zijn **slimme concepten waarmee zowel de TCO als systeem-stilstand verlaagd wordt**; zie de gestreepte kromme in Figuur 1.



Figuur 1: Stilstand versus TCO

Een belangrijke factor om de TCO en systeem-stilstand te beïnvloeden wordt gevormd door het zogenaamde **service netwerk**, waarmee snelle leveringen van reserve-onderdelen kunnen worden gerealiseerd bij storingen; zie Figuur 2. Dit netwerk bestaat uit lokale voorraadpunten op korte afstand van de systemen in het veld, uit een centraal voorraadpunt, en uit reparatiewerkplaatsen waar kapotte onderdelen worden gerepareerd.



Figuur 2: Het service netwerk

In dit voorstel zijn nieuwe concepten bedacht voor de volgende zaken:

- I. **De voorraadbeheersing van reserve-onderdelen in service netwerken:** Reeds in 1968 is door Sherbrooke een start gemaakt met voorraadbeheersingsmodellen voor reserve-onderdelen die zijn gericht op het realiseren van vereiste systeembeschikbaarheden tegen zo laag mogelijke kosten. In een eerder project met ASML is een slim voorraadbeheersingsconcept voor de lokale voorraadpunten bedacht waarmee het gebruik van laterale verzendingen goed uitgenut wordt; zie Kranenburg en Van Houtum (2009). Dat concept is bij ASML geïmplementeerd in 2005 en heeft hogere systeembeschikbaarheden opgeleverd tesamen met tientallen miljoenen Euro's besparing aan *jaarlijkse* kosten; zie eSCF (2011). In het huidige project is dit concept verder uitgebouwd tot het hele

netwerk en zodanig dat ook spoedzendingen vanuit het centrale niveau goed uitgenut worden; zie Van Aspert (2014). Deze uitbouw is inmiddels ook geïmplementeerd bij ASML en heeft tot verdere grote verbeteringen geleid. Verder is een belangrijk boek gepubliceerd over systeemgerichte voorraadbeheersingsmodellen, waarin het onderzoek van vele jaren is geconsolideerd; zie Van Houtum en Kranenburg (2015). Tot slot hebben we systeemgerichte modellen ontwikkeld voor situaties met onzekerheid in de parameters van de stochastische vraagprocessen voor de reserve-onderdelen; zie Van Wingerden (2018). Deze modellen met dubbele onzekerheid zijn nodig in het eerste deel van de gebruiksfase van compleet nieuwe machines zoals de EUV machines van ASML.

- II. **Logistieke interactie tussen de reparatiewerkplaatsen en de rest van het service netwerk:** De duurdere reserve-onderdelen worden gerepareerd in interne en externe reparatiewerkplaatsen. Met het geven van prioriteit aan de onderdelen met een lage netwerkvoorraad voorkom je buiten-voorraad situaties in de nabije toekomst. In Arts et al. (2016) en Arts (2017) is gewerkt aan een concept waarmee dat wordt gerealiseerd voor een situatie waarin zowel de werkplaatsen als de voorraad in het service netwerk eigenstandig worden aangestuurd. Dit concept is overgenomen door de NS. Het artikel Arts et al. (2016) is verschenen in *Operations Research*, een flagship journal binnen het gebied Operations Research & Management Science.
- III. **De invloed van het productontwerp op TCO en systeem-stilstand:** We hebben innovatieve, wiskundige modellen ontwikkeld om de volgende keuzes te ondersteunen m.b.t. het ontwerp van nieuwe systemen en het onderhoudsconcept: (i) het wel/niet ontwerpen van gemeenschappelijke componenten voor meerdere typen machines; (ii) welke onderdelen/modules worden gedefinieerd als de te vervangen onderdelen bij storingen (dit definieert de reserve-onderdelen); (iii) welke vervangingsstrategie gevolgd wordt als er een nieuwe, betere variant is ontworpen voor een bestaande component. Deze modellen staan beschreven in het proefschrift van Driessen (2018). We verwachten hieruit enkele publicaties in toptijdschriften te kunnen realiseren.

De reeds gerealiseerde output in termen van een boek (1), wetenschappelijke artikelen (12), proefschriften (2), en eindrapporten van PDEng trainees (4) staat hieronder beschreven. Er zijn daarnaast 15 BSc/MSc studies uitgevoerd binnen dit project.

De projectresultaten zijn relevant voor kapitaalgoederen in vele sectoren (o.a. defensie, energie, healthcare, en infrastructuur). Ze zijn gepresenteerd in een workshop met 60 deelnemers uit diverse sectoren en ze zullen worden gebruikt in nieuwe projecten met partijen uit andere sectoren.

Referenties

Gerealiseerde wetenschappelijke output van het project

- Arts, J.J., "A multi-item approach to repairable stocking and expediting in a fluctuating demand environment", *European Journal of Operational Research* 256, pp. 102-115, 2017.
- Arts, J.J., Basten, R.J.I., and van Houtum, G.J., "Repairable stocking and expediting in a fluctuating demand environment: Optimal policy and heuristics", *Operations Research* 64, pp. 1285-1301, 2016.
- Arts, J., and Flapper, S.D., "Aggregate overhaul and supply chain planning for rotatables", *Annals of Operations Research* 224, pp. 77-100, 2015.
- Arts, J.J., van Houtum, G.J., and Zwart, A.P., "The asymptotic hazard rate of sums of discrete random variables", *Statistics and Probability Letters* 125, pp. 171-173, 2017.
- Bakker, R., "Design of a New Way of Working to Improve the Planning of Engineering Change Spare Parts", PDEng design report, Eindhoven University of Technology, 2016.
- Basten, R.J.I., and Arts, J.J., "Fleet readiness: stocking spare parts and high-tech assets", *IIE Transactions* 49, 429-441, 2017.
- Basten, R.J.I., and Van Houtum, G.J., "System-oriented inventory models for spare parts", *Surveys in Operations Research & Management Science* 19, pp. 34-55, 2014.
- Driessen, J.P.C., "Life Cycle Costs Optimization for Capital Goods", PhD thesis, Eindhoven University of Technology, 2018.
- Driessen, J.P.C., Peng, H., and van Houtum, G.J., "Maintenance optimization under non-constant probabilities of imperfect inspections", *Reliability Engineering and System Safety* 165, pp. 115-123, 2017.

- Driessen, M., Arts, J.J., Van Houtum, G.J., Rustenburg, W.D., and Huisman, B., "Maintenance spare parts planning and control: A framework for control and agenda for future research", *Production Planning and Control* 26, pp. 407-426, 2015.
- Fleuren, W., "Cost to Serve: "Estimating the Future Logistic Costs of ASMLs Logistic Service Contracts", PDEng design report, Eindhoven University of Technology, 2015.
- Ge, Q., Peng, H., van Houtum, G.J., and Adan, I.J.B.F., "Reliability optimization for series systems under uncertain component failure rates in the design phase", *International Journal of Production Economics* 196, pp. 163-175, 2018.
- Javanmardi, N., "A Design for Spare Parts Stocking under Demand Uncertainty during the Introduction Phase of a New System", PDEng design report, Eindhoven University of Technology, 2017.
- Öner, K.B., Kiesmüller, G.P., and Van Houtum, G.J., "On the upgrading policy after the redesign of a component for reliability improvement", *European Journal of Operational Research* 244, pp. 867-880, 2015.
- Özkan, E., Van Houtum, G.J., and Serin, Y., "A new approximate evaluation method for two-echelon inventory systems with emergency shipments", *Annals of Operations Research* 224, pp. 147-169, 2015.
- Tiemessen, H.G.H., Fleischmann, M., and van Houtum, G.J., "Dynamic control in multi-item production/inventory systems", *OR Spektrum* 39, pp. 165-191, 2017.
- Van Aspert, M., "Design of an Integrated Global Warehouse and Field Stock Planning Concept for Spare Parts", PDEng design report, Eindhoven University of Technology, 2014.
- Van Houtum, G.J., and Kranenburg, A.A., *Spare Parts Inventory Control under System Availability Constraints*, International Series in Operations Research & Management Science, Springer, Norwell, U.S.A., 2015.
- Van Wingerden, E., "System-focused spare parts management for capital goods", PhD thesis, Eindhoven University of Technology, 2018. In voorbereiding.
- Van Wingerden, E., Basten, R.J.I., Dekker, R., and Rustenburg, W.D., "More grip on inventory control through improved forecasting: A comparative study at three companies", *International Journal of Production Economics* 157, pp. 220-237, 2014.

Andere referenties

- eSCF (Stein, W.), *Spare parts planning at ASML*, European Supply Chain Forum, eSCF Operations Practices, 2011. Beschikbaar op: <http://www.escf.nl/operation>
- Kranenburg, A.A., and Van Houtum, G.J., "A new partial pooling structure for spare parts networks", *European Journal of Operational Research* 199, pp. 908-921, 2009.
- Sherbrooke, C.C., "METRIC: A multi-echelon technique for recoverable item control", *Operations Research* 16, pp. 122-141, 1968.