

## Summary (in Dutch)

Onder havenmaterieel wordt alle soorten materieel verstaan dat op havens vracht kan vervoeren. Deze vrachten zitten meestal in containers en moeten dan "horizontaal" vanaf het schip naar de opslagplaats worden vervoerd. Miljoenen van deze containers worden per jaar over de wereld getransporteerd, waardoor meer dan 200 miljoen tochten per jaar moeten worden gemaakt tussen de zeehavens en containerterminals. Voorbeelden van havenmaterieel zijn de containerlift, terminal trekker en de reachstacker. De activiteiten van havenmaterieel worden gekenmerkt door veel starts en stops en in veel gevallen ook door het optillen van lading. Betrouwbaarheid, efficiëntie en een laag energieverbruik van het havenmaterieel zijn van cruciaal belang, mede vanwege de hevige concurrentie tussen de verschillende containerhavens. Bovendien wordt energiebesparing een steeds belangrijkere kwestie als gevolg van hogere energieprijzen. Mede hierdoor is energiemangement bij het dieselelektrisch hybridiseren en volledig elektrificeren van havenmaterieel dat gebruik maakt van energieopslagsystemen, een belangrijke ontwikkeling.

Drie verschillende soorten aandrijfsystemen voor havenmaterieel kunnen van elkaar worden onderscheiden: conventioneel (aangedreven met een verbrandingsmotor), volledig elektrisch en dieselelektrisch hybride. Dieselelektrisch hybride voertuigen kunnen als een mix worden gezien van een met een verbrandingsmotor aangedreven voertuig en een volledig elektrische voertuig. Hybride aandrijfsystemen kunnen in vier verschillende groepen worden ingedeeld: serie hybride, parallel hybride, serieparallel hybride en complex hybride. Een belangrijk punt waarin hybride voertuigen nog meer van elkaar kunnen verschillen is de grootte van de elektromotor en de verbrandingsmotor. Een voertuig kan worden gedomineerd door de verbrandingsmotor of door de elektromotor. Een subgroep van de hybride voertuigen is de plug-in hybride voertuigen, die worden gekenmerkt door de eigenschap dat de batterijen kunnen worden opgeladen vanaf het elektriciteitsnet. De belangrijkste voordelen van hybridisatie en elektrificatie van havenmaterieel zijn: de mogelijkheid om regeneratief te remmen; het verkleinen van de verbrandingsmotor; een hogere efficiëntie van de verbrandingsmotor omdat deze bijna continu op zijn optimale punt kan werken; en de mogelijkheid om de verbrandingsmotor te stoppen wanneer het hele voertuig stil staat. De verschillende energiebronnen die in voertuigen kunnen worden gebruikt zijn: batterijen, brandstofcellen, supercondensatoren, ultrabatterijen en vliegwielen. Deze energiebronnen hebben allemaal een andere specifieke energie en specifiek vermogen. Door hybridisatie van energiebronnen kunnen de goede eigenschappen van twee (of meer) energiebronnen met elkaar worden gecombineerd.

Het doel van energiemangement is het minimaliseren van brandstof en energieverbruik. Energiemangement kan zowel intern als extern zijn. Onder extern energiemangement vallen de oplaad frequentie van de batterij, het ontladpatroon, het oplaadpatroon en het verwisselen van batterijen. Deze methoden hebben invloed op het energieverbruik, de levensduur en het benodigde gewicht van de batterijen.

Intern energiemangement wordt gedaan met behulp van controle strategieën. De hoogste controle laag, de zogenoemde Energie Management Strategie (EMS), heeft als belangrijkste taak om continu

de vermogenshoeveelheid die door de verbrandingsmotor en de batterij worden geleverd te controleren. De energiemanagement strategieën kunnen worden ingedeeld in heuristische, optimale en suboptimale controle strategieën. De eerstgenoemde groep behoort tot de meest moderne strategieën.

Plug-in hybride voertuigen (PHEV's) hebben hun eigen energiemanagement strategieën. Een volledig opgeladen PHEV blijft in ontladingsmode (CD-mode) werken totdat de batterij een bepaalde ontladingsgrens bereikt. Op dat moment gaat het voertuig over op de mode waarin deze ontladingsdiepte wordt behouden (CS-mode). PHEV's kunnen in drie verschillende groepen worden ingedeeld, afhankelijk van de gebruikte strategie tijdens de CD-mode.

Eén van de grootste nadelen van volledig elektrische voertuigen is de relatief korte afstand die ze kunnen afleggen vergeleken met dieselektrisch hybride voertuigen en conventionele voertuigen. Over het algemeen geldt dat wanneer de afstand per cyclus toeneemt, het voordeel van hybride voertuigen ten opzichte van volledig elektrische voertuigen toeneemt.

Meestal is het voordelig om een zo laag mogelijk batterijgewicht te hebben, want zware batterijen zorgen voor meer rolweerstand. Echter is de massa van het voertuig zelf ook van belang. De invloed van de massa van de batterijen zal een stuk kleiner zijn als de massa van het voertuig zelf vele malen groter is. Daarom is het vooral bij lichte voertuigen minder aantrekkelijk om een volledig elektrische aandrijving te gebruiken.

Het voordeel van volledig elektrisch aangedreven havenmaterieel is dat ze geen brandstof verbruiken. 1 kWh elektrificatie levert per tank ongeveer € 0,23 op. Helaas wordt deze winst teniet gedaan door de extra aanschafkosten van de batterij. Hierdoor is het extra belangrijk om zuinig met de batterijen om te gaan.

Als een korte oplaadtijd is vereist, heeft een hybride voertuig de voorkeur boven een volledig elektrisch aangedreven voertuig. Vanwege de lange oplaadtijd van volledig elektrisch havenmaterieel, zal er meer havenmaterieel of meer batterijen nodig zijn om evenveel te kunnen werken.

Lege of bijna lege batterijen kunnen ook simpelweg worden gewisseld met volledig geladen batterijen. Dit bespaart een hoop oplaadtijd en zorgt voor een langere levensduur van de batterij.

Vanwege de vele voordelen van hybridisatie, zoals regeneratief remmen, minder brandstofverbruik, een grotere actieradius en het ontbreken van echte nadelen, is hybridisatie een goede mogelijkheid voor havenmaterieel. De kosten en het gewicht van de batterijen zijn relatief laag. De aanschafkosten zijn wel relatief hoog, vanwege de complexiteit en de hoge kosten van de batterij, maar deze kosten kunnen worden terugverdiend door de vermindering in brandstofverbruik.

Volledige elektrificatie is nog niet aan te bevelen voor alle havenmaterieel. Redenen hiervoor zijn de zeer lange oplaadtijd, de hoge kosten en de zware batterijen. Enkel AGV's en kleine vorkheftrucks hebben redelijke mogelijkheden. Het hoge batterijgewicht van AGV's heeft weinig effect omdat de AGV zelf erg veel weegt. De oplaadtijd van volledig elektrische AGV's is redelijk.

Er zijn ook al vele volledig elektrische kleine vorkheftrucks. Het voordeel van deze volledig elektrische heftrucks is de erg korte oplaadtijd van ongeveer 3 uur. Een nadeel echter, zijn de in verhouding hoge kosten voor de batterij vergeleken met de kosten van de heftruck zelf.