

Summary (in Dutch)

Het Stevelduct is een nieuw type transport voor containers, uitgevonden door Aad van den Ende. Het combineert de techniek van het aquaduct en die van stevelen, vandaar de naam Stevelduct. Stevelen is een fenomeen dat optreedt op stromend water, objecten drijvend op het wateroppervlak kunnen door de helling van het water hogere snelheden behalen dan dat van het stromende water.

Het Stevelduct zal bestaan uit een kanaal dat onder een kleine hoek staat, waardoor het water met ongeveer 5 km/h gaat stromen. In het kanaal worden onbemande, niet-gemotoriseerde pontons gebruikt voor het vervoer containers (2 TEU's per ponton), een lift plaatst iedere 30 seconden een beladen ponton in het kanaal. De pontons worden voortgestuwd door het momentum van het stromende water en extra snelheid wordt verkregen door het effect van stevelen, waardoor een totale snelheid van ongeveer 6 km/h wordt behaald. De pontons worden geleid door rails, waarbij een overschot aan drijfvermogen de wielen tegen de rails aan drukt.

Het belangrijkste doel van dit onderzoek is om de technische haalbaarheid van het Stevelduct te analyseren. Het onderzoek richt zich op de basale werking van het Stevelduct, hiervoor wordt het concept verder uitgewerkt, waarbij de belangrijkste afmetingen en het energieverbruik bepaald zullen worden. Verschillende aspecten van het concept komen aan de orde, zoals de vereiste helling, het stevelen, de transport loss factor (TLF), logistiek en anderen. Met de gevonden resultaten wordt een analyse van een mogelijke Stevelductverbinding tussen de Maasvlakte en Roosendaal gemaakt, waarna conclusies over de technische haalbaarheid van het Stevelduct kunnen worden getrokken.

De vorm van de kanaaldoorsnede is geanalyseerd met behulp van de Chezy's formule voor uniforme stroming in open kanalen. De vereiste helling van het kanaal, afhankelijk van vier verschillende kanalen vormen (driehoekig, rechthoekig, trapeziumvormig en cirkelvormig) is geminimaliseerd voor een constante stroomsnelheid en dwarsdoorsnede. Het resultaat is dat de helling van het kanaal minmaal is bij een kanaal met de vorm van een halve cirkel.

De pontons vereisen een surplus aan drijfvermogen, deze moet zo klein mogelijk zijn om de rolweerstand van de geleiding te minimaliseren, maar groot genoeg om contact tussen de rails en wielen te behouden. Het benodigde surplus aan drijfvermogen is bepaald door de onbalans van ongelijke geladen containers en de afstand tussen de geleiderails.

Met het surplus aan drijfvermogen, het maximale containergewicht en het geschatte gewicht van de pontons, zijn de pontons gedimensioneerd voor de verschillende kanalen vormen. De vorm van de ponton doorsneden zijn gelijk genomen aan de vormen van het kanaal. Onder de voorwaarde dat een minimale kanaaldoorsnede is nodig om stroming rond het ponton toe te staan, presteert de halfronde vorm het best, omdat de afstand van ponton tot de kanaalwand het grootste is en dus het effect van de kanaalwand op waterstroom het kleinst is. Omdat de helling en dwarsdoorsnede gerelateerd zijn, leidt de eis van de minimale oppervlakte bij het halfronde kanaal tot een bovengrens voor helling van het kanaal van 0.24 m/km.

De stevelsnelheid van de pontons is afhankelijk van de gewichtscomponent van het ponton als gevolg van de helling van het kanaal (de stevelkracht), de rolweerstand, de weerstand van het water en de luchtweerstand.

Door het evenwicht van deze krachten op te stellen is een relatie tussen de helling en stevelsnelheid gevonden. Maximaal beladen pontons gaan stevelen bij helling van 0.10 m/m, een stevelsnelheid van 1 km/h (een totale snelheid van 6 km/h) wordt bereikt bij een helling van 0.15 m/km, dat is de ondergrens voor de helling van het kanaal. Het effect van wind heeft een grote invloed op de snelheid van de pontons, een frontale wind van 5 Bft vermindert de totale snelheid met ongeveer 75%.

Pontons met lage belastingen in vergelijking tot de maximale belasting varen met lagere snelheden, omdat de stavel kracht kleiner wordt, terwijl de rolweerstand toeneemt. Omdat de massa van de containers varieert, doet de snelheid van de pontons dat ook. Dit kan worden voorkomen door het ballasten van de beladen pontons tot een gelijk gewicht, als gevolg hebben alle pontons dezelfde snelheid, waardoor de voorspelbaarheid van het systeem vergroot wordt.

Het energieverbruik van het Stevelduct is afhankelijk van de massastroom van het water, pontons, lading en de hoogte van het kanaal. Voor een constante stroomsnelheid neemt het energieverbruik af naarmate de helling oploopt, dit als gevolg van de relatie tussen de dwarsdoorsnede en de helling van het kanaal. Het energieverbruik voor de grenzen van 0.15 en 0.24 m/km zijn respectievelijk 45 en 33 kW/km voor ongeballasteerde pontons en 47 en 37 kW/km voor geballasteerde pontons. Een extra vermogen, tussen 13.7 en 31.0 kW, is nodig om het water en de pontons aan het begin van het kanaal te versnellen tot de stroomsnelheid van het water.

De TLF van de geballasteerde pontons varieert, afhankelijk van de helling van het kanaal, ongeveer tussen 0.0060 en 0.0076, voor ongeballasteerd pontons is dit 10% lager. Dit is in de regionen van de TLF van treinen en schepen, die de laagste TLF hebben, met het voordeel dat groene stroom gebruikt kan worden, zodat er geen schadelijke emissies optreden.

Een Stevelduct verbinding tussen de Maasvlakte en Roosendaal, die werd voorgesteld in het concept, is geanalyseerd met de gevonden resultaten. Het gebruik van ondertunnelde gedeeltes was genoemd, maar dit zou onhaalbaar kunnen zijn, want als een pomp of lift uitvalt, zijn er nog grote hoeveelheden water pontons en containers in het kanaal en blijven naar het einde van het kanaal stromen. De benodigde afwatering en buffers voor de pontons, containers en het water zouden ondergronds tot problemen kunnen leiden.

De resultaten gevonden in de analyse van de verschillende aspecten met betrekking tot het functioneren van het Stevelduct en die van de Maasvlakte-Roosendaal-verbinding zijn technisch haalbaar. Echter, hebben wind en de variërende massa van de containers grote invloed op het gedrag van de pontons, maar het kanaal kan worden beschermd tegen wind en de massa kan worden gelijkgesteld door het ballasten van de pontons. Ook kunnen problemen optreden in geval van een storing in de apparatuur in ondertunnelde secties van Stevelduct. Het falen van een pomp of lift is problematisch in ondertunnelde secties, omdat ondergronds de afwatering en opslag van zulke grote volumes aan water, pontons en container moeilijk is.

Al met al kan worden geconcludeerd dat het Stevelduct technisch haalbaar is, maar de pontons moet worden beschermd tegen wind en het gebruik van ondertunnelde secties zou technisch onhaalbaar kunnen zijn.