

Koelcontainers onder de grond?

**Een haalbaarheidsstudie naar een ondergronds
opslag en distributiecentrum voor koelcontainers**



HOOFDRAPPORT

Juli 2001


TU Delft

Koelcontainers onder de grond?

Een haalbaarheidsstudie naar een ondergronds opslag en
distributiecentrum voor koelcontainers

Niels A. Dekker
Juni 2001

Afstudeercommissie:

Prof. Ir. H. Ligteringen, (TU Delft, Civiele Techniek, WbK, Havens en scheepvaartwegen)

Ir. R. Groenveld, (TU Delft, Civiele Techniek, WbK, Havens en scheepvaartwegen)

Ing. A.P. van der Marel, (TU Delft, Civiele Techniek, M & C, Betonconstructies)

Ir. M. van Schuylenburg, (Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam)



Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Afdeling Waterbouwkunde
Sectie Havens en Scheepvaartwegen



Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Afdeling Strategie & Communicatie
Corporate Development
Unit Logistieke Ontwikkeling

Voorwoord

Dit rapport is het hoofd rapport van mijn afstudeeronderzoek naar de haalbaarheid van een ondergronds opslag en distributiecentrum voor koelcontainers. Het onderwerp is aangedragen door de TU-Delft en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam en voortgekomen uit een studie naar multifunctionele kaden.

Het afstudeerverslag belicht zoveel mogelijk aspecten die aan de orde komen bij dit project. Omdat het onderwerp erg breed is, is niet overal even diep op ingegaan en zijn er een aantal belangrijke aannames gemaakt.

Dit hoofd rapport vormt het eerste gedeelte van mijn afstudeerverslag. Het tweede gedeelte betreft de bijlagen, die zijn opgenomen in een apart rapport.

Langs deze weg wil ik graag mijn afstudeercommissie bedanken voor de begeleiding tijdens mijn afstuderen en in het bijzonder ir. M van Schuylenburg en ing A. van der Marel voor de soms intensieve begeleiding. Daarnaast wil ik het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam bedanken voor het bieden van de mogelijkheid om daar af te studeren.

Niels Dekker
Rotterdam, juni 2001

Inhoudsopgave

VOORWOORD	V
INHOUDSOPGAVE	VII
SAMENVATTING	XI
1 INLEIDING	1
2 INVENTARISATIE KOELCONTAINERS	3
2.1 INLEIDING	3
2.2 SOORTEN KOELCONTAINERS	3
2.3 KOELCONTAINERS VERSUS REEFERSCHEPEN	5
2.4 KOEL- EN VRIESLADING	6
2.5 ONTWIKKELINGEN EN TOEKOMSTVERWACHTINGEN	7
2.5.1 CONTAINERS	7
2.5.2 KOELCONTAINERS	9
2.6 VERBLIJFTIJDEN VAN KOELCONTAINERS	11
2.7 CONCLUSIE	12
3 INVENTARISATIE TRANSPORTTECHNIEKEN EN MATERIEEL	13
3.1 INLEIDING	13
3.2 CONTAINERTERMINAL	13
3.3 MATERIEEL	15
3.3.1 MATERIEEL MET ALLEEN EEN OVERSLAGFUNCTIE	15
3.3.2 MATERIEEL MET ALLEEN EEN TRANSPORTFUNCTIE	16
3.3.3 MATERIEEL MET TRANSPORTFUNCTIE EN OVERSLAGFUNCTIE	17
3.4 TRANSPORTTECHNIEKEN	18
3.5 VERTICAAL TRANSPORT NAAR DE ONDERGRONDSE OPSLAG	20
3.5.1 LIFTCONSTRUCTIE	20
3.5.2 RIJBAAN ONDER EEN HELLING	20
3.5.3 KADEKRAAN LAAT CONTAINER DIRECT ZAKKEN	21
3.5.4 STRADDLE CARRIER LAAT CONTAINER ZAKKEN	21
3.5.5 GANTRY CRANE LAAT CONTAINER ZAKKEN	21
3.6 CONCLUSIE	21

4	ONDERGRONDS BOUWEN	23
<hr/>		
4.1	INLEIDING	23
4.2	ONDERGRONDS BOUWEN IN HET ALGEMEEN	23
4.3	ASPECTEN VAN HET ONDERGRONDS BOUWEN	24
4.4	VOOR- EN NADELEN VAN ONDERGRONDS BOUWEN	25
4.5	ONDERGRONDS BOUWEN IN DE ROTTERDAMSE HAVEN	26
4.6	CONCLUSIE	26
5	AFBAKENING ONDERZOEK	29
<hr/>		
5.1	INLEIDING	29
5.2	CONTAINERTERMINAL	29
5.2.1	ALGEMENE AANNAMES	29
5.2.2	BEREKENING TERMINAL OPPERVLAKTE	32
5.3	DISTRIBUTIECENTRUM	34
5.3.1	ALGEMENE AANNAMES	34
5.3.2	OPPERVLAKTE DISTRIBUTIECENTRUM	36
5.4	ENERGIEVERBRUIK EN ENERGIEBESPARING	37
5.4.1	ALGEMENE AANNAMES	37
5.4.2	ENERGIEBESPARING	38
6	ONTWIKKELEN CONCEPTEN	39
<hr/>		
6.1	INLEIDING	39
6.2	OPSTELLEN CONCEPTENBOOM VOOR ONDERGRONDSE OPSLAG	39
6.2.1	INTERN VERVOER BOVENGRONDS	39
6.2.2	TRANSPORTTECHNIEK BOVENGRONDS ONDERGRONDS	39
6.2.3	CONCEPTENBOOM VOOR DE ONDERGRONDSE OPSLAG	40
6.2.4	INTERN VERVOER EN OPSLAG ONDERGRONDS	42
6.3	LIFTCONCEPT	42
6.4	RIJBAANCONCEPT	44
6.5	OPENINGCONCEPT	45
6.6	OPSTELLEN CONCEPTEN GEDEELTELIJK ONDERGRONDS	47
6.6.1	BOVENGRONDSE OPSLAG EN ONDERGRONDS DISTRIBUTIECENTRUM	47
6.6.2	VERDIEPTE OPSLAG EN ONDERGRONDS DISTRIBUTIECENTRUM	47
6.7	DISTRIBUTIECENTRUM	48
6.7.1	VARIANT 1: DIRECT UIT OPSLAG NAAR DISTRIBUTIECENTRUM	48
6.7.2	VARIANT 2: UIT OPSLAG OP CHASSIS	49
6.8	CONCLUSIE	51
7	AFWEGING CONCEPTEN EN VARIANTEN	53
<hr/>		
7.1	INLEIDING	53
7.2	TOETSINGSCRITEIA	53
7.3	TOETSING CONCEPTEN	54
7.4	KEUZE VAN HET MEEST GESCHIKTE CONCEPT	56
7.5	KEUZE LOGISTIEKE VARIANT DISTRIBUTIECENTRUM	57
7.6	CONCLUSIE	58

8 FUNCTIONEEL ONTWERP ONDERGRONDS RUIMTE **61**

8.1	INLEIDING	61
8.2	VRIJE HOOGTE ONDERGRONDS	61
8.2.1	BOVENLOOPKRAAN	61
8.2.2	STAPELHOOGTE KOELCONTAINERS ONDERGRONDS	63
8.2.3	STAPELHOOGTE PALLETS	64
8.3	OPPERVLAKTE ONDERGRONDSE OPSLAG VOOR KOELCONTAINERS	64
8.3.1	VRIJE RUIMTE VOOR CONTAINERS ONDERGRONDS	64
8.3.2	VRIJE RUIMTE VOOR CONSOLES	65
8.3.3	INDELING STACKS EN GROOTTE STACKS	66
8.3.4	KOLOMAFSTANDEN ONDERGRONDS	67
8.3.5	KEUZE STAPELHOOGTE	68
8.3.6	OPPERVLAKTE ONDERGRONDSE OPSLAG	69
8.4	OPPERVLAKTE OPSLAG DISTRIBUTIECENTRUM	70
8.4.1	KEUZE STAPELHOOGTE PALLETS EN VRIJE RUIMTE	70
8.4.2	INDELING PALLETSTELLINGEN EN OPPIERVLAKTE CELLEN	70
8.5	OVERIGE RUIMTES ONDERGRONDS	72
8.5.1	DOCKING STATIONS	72
8.5.2	OPSTEL RUIMTE EN KANTOREN EN RIJBANEN	72
8.5.3	RIJBAAN EN OPSTELRUIMTES VOOR VRACHTAUTO'S	72
8.6	FUNCTIONEEL ONTWERP	73
8.7	CONCLUSIES	73

9 CONSTRUCTIEVE ASPECTEN EN EISEN VAN DE ONDERGRONDSE RUIMTE **75**

9.1	INLEIDING	75
9.2	UITGANGSPUNTEN	75
9.3	RANDVOORWAARDEN	76
9.4	TECHNISCH PROGRAMMA VAN EISEN	77
9.5	BELASTINGEN	78
9.5.1	BELASTINGEN OP DAKCONSTRUCTIE	78
9.5.2	BELASTING OP ZIJWAND VAN DE CONSTRUCTIE	80
9.5.3	BELASTING OP KOLOMMEN	81
9.5.4	BELASTING OP VLOER ONDERGRONDS	81
9.5.5	BELASTING OP BINNENWANDEN	82
9.6	BELASTINGGEVALLEN	82
9.6.1	BELASTINGFACTOREN EN FUNDAMENTELE BELASTINGCOMBINATIES	82
9.6.2	BELASTINGGEVALLEN DAKCONSTRUCTIE	83
9.6.3	BELASTINGGEVALLEN BUITENWANDEN	83
9.6.4	BELASTINGGEVALLEN KOLOMMEN	83
9.6.5	BELASTINGGEVALLEN VLOER	84

10 CONSTRUCTIEF ONTWERP CONSTRUCTIE **85**

10.1	INLEIDING	85
10.2	DIMENSIONERING DAKCONSTRUCTIE	85
10.3	DIMENSIONERING WANDEN	89
10.4	DIMENSIONERING KOLOMMEN	89
10.5	DIMENSIONERING VLOERCONSTRUCTIE	90
10.6	UITVOERING	91
10.7	CONCLUSIES	92

11	KOSTEN EN BESPARINGEN	93
11.1	INLEIDING	93
11.2	KOSTEN TERMINAL ZONDER ONDERGRONDSE OPSLAG EN DISTRIBUTIECENTRUM (CONVENTIONEEL)	93
11.2.1	TERMINAL ZONDER ONDERGRONDSE OPSLAG	93
11.2.2	BOVENGRONDS DISTRIBUTIECENTRUM	93
11.3	TERMINAL MET ONDERGRONDSE OPSLAG (INNOVATIEVE TERMINAL)	94
11.3.1	CONSTRUCTIEKOSTEN ONDERGRONDSE OPSLAG	94
11.3.2	BOVENGRONDSE TERMINAL	94
11.3.3	UITVOERINGSKOSTEN	94
11.4	VERGELIJKING CONVENTIONELE TERMINAL EN INNOVATIEVE TERMINAL	95
11.4.1	HUUR VAN DE GROND	95
11.4.2	ENERGIEBESPARING	95
11.4.3	KOELVERMOGEN	96
11.4.4	OVERIGE VERSCHILLEN	96
11.5	CONCLUSIES	97
12	CONCLUSIES	99

Samenvatting

De Rotterdamse haven is een van de grootste havens van de wereld als het om containeroverslag gaat. De containerindustrie is voor de toekomst de belangrijkste groeiemarkt voor Rotterdam. De ruimte in de Rotterdamse haven wordt echter steeds schaarser en er wordt voortdurend onderzoek gedaan naar nieuwe innovatieve terminals en uitbreiding in de Rotterdamse haven. Een mogelijkheid om de ruimte beter te benutten is meervoudig ruimtegebruik achter de kade, door bijvoorbeeld ruimte boven of onder het maaiveld te benutten. Binnen de studie Multi Functionele Kade, uitgevoerd door het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam en de TU Delft, heeft dit geleid tot een kansrijke combinatie: een containerterminal met ondergrondse (koel-) distributieloodsen voor (reefer-)containers. Door containers onder de grond op te slaan wordt de ruimte op een terminal efficiënter gebruikt. Het ondergronds opslaan van containers is echter een kostbare zaak door de hoge investering. Door koelcontainers ondergronds op te slaan is echter een energetisch voordeel te behalen, daar het onder het maaiveld meestal koeler is dan boven het maaiveld en er een constante temperatuur is. Ook bij ondergrondse koel- en vriesloodsen kan een energiebesparing optreden. Bij dit idee rijzen er tal van vragen op die beantwoord moet worden. Dit is de aanleiding geweest tot het onderzoek en de doelstelling is het maken van een haalbaarheidstudie naar een ondergronds opslag en distributiecentrum voor koelcontainers.

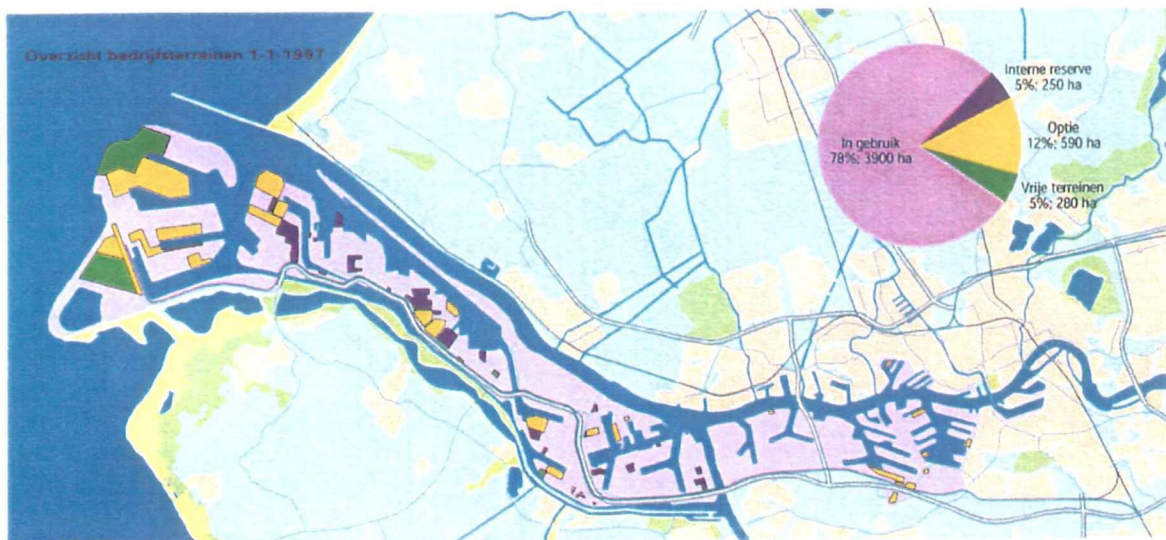
Het onderzoek is onderverdeeld in 3 delen: een inventarisatie, het ontwikkelen van concepten en een constructieve uitwerking. Uit de inventarisatie van de containerindustrie is gebleken dat het percentage overgeslagen koelcontainer in Rotterdam toeneemt. De reden hiervoor is dat steeds meer koel- en vrieslading in containers wordt vervoerd. Er is gekozen voor een concept waarbij de containers onder de grond worden gebracht door een Overhead Bridge Crane. Hierbij is vooral gekeken naar logistieke aspecten op de containerterminal. De koelcontainers ondergronds worden vervoerd met behulp van een ondergrondse bovenloopkraan. De importcontainers worden ondergronds opgeslagen, waarvan een deel rechtstreeks naar het distributiecentrum gaat. In het functioneel ontwerp is gekozen de containers ondergronds maximaal 2 hoog op te slaan. De ondergrondse opslag is ontworpen voor 1000 TEU en 22000 pallets. De interne hoogte van de ondergrondse ruimte bedraagt 8,6 meter. De constructie bestaat uit een betonnen bakconstructie op trekpalen. De afmetingen van de bakconstructie zijn ontworpen met simpele ontwerpberekeningen. Het dak van de constructie bestaat uit dakplaten op voorgespannen liggers in hoge sterkte beton. Vanwege de hoge belastingen door de containers kan de dakconstructie niet in normaal beton worden uitgevoerd zonder exceptionele vormen aan te nemen en moet er minimaal een betonsterkte B105 worden toegepast.

De kosten van de "innovatieve" terminal met koel- en vriesloodsen zijn afgewogen tegen de kosten van een conventionele terminal en een bovengronds vriesloods. Het verschil in aanlegkosten bedraagt 40 miljoen gulden. De belangrijkste besparingen van de innovatieve oplossing zijn het ruimtegebruik en de besparing op het koelvermogen in de ondergrondse vriesloodsen.

De studie heeft geleid tot een uitgebreid overzicht van aspecten die een rol spelen bij een ondergronds opslag en/of distributiecentrum voor (koel-)containers.

1 Inleiding

De Rotterdamse haven is één van de grootste havens van de wereld als het om containeroverslag gaat. De containeroverslag is voor de toekomst de belangrijkste groeimarkt voor Rotterdam. Er wordt voortdurend onderzoek gedaan naar nieuwe innovatieve terminals en uitbreiding in de Rotterdamse haven. Een voorbeeld van dit laatste is Maasvlakte II. Het Gemeentelijk Havenbedrijf en de Technische Universiteit Delft hebben een samenwerkingsovereenkomst waarbinnen de werkgroep Multifunctionele kade (MFK) valt. Deze werkgroep doet onderzoek op het gebied van innovatieve haveninfrastructuur en richt zich op conceptuele ontwikkelingen en haalbaarheidsstudie van multifunctionele kaden. Een secundair doel hierbij is het meervoudig ruimtegebruik achter de kade, door bijvoorbeeld de ruimte boven of onder het maaiveld te benutten. Dit laatste heeft binnen de studie Multifunctionele kade geleid tot onder andere de volgende kansrijke combinatie: een containerterminal met ondergrondse (koel-) distributieloodsen voor (reefer-)containers. Een reden om ondergronds te gaan bouwen in de Rotterdamse haven is dat de ruimte schaars wordt in de Rotterdamse haven. Dit is te zien in figuur 1.1, waar de beschikbare terreinen in de Rotterdamse haven worden weergegeven. Uiteindelijk zal door de groeiende containermarkt de capaciteit van de containeroverslag in de Rotterdamse haven te klein worden als niet verder kan worden uitgebreid of als er geen innovatieve oplossingen worden gevonden, waardoor de capaciteit kan toenemen.



Figuur 1.1: grondgebruik in de Rotterdamse haven

Door containers onder de grond op te slaan wordt de ruimte op de terminal efficiënter gebruikt. Het ondergronds opslaan van containers is echter een kostbare zaak door de hoge investering. Door koelcontainers ondergronds op te slaan is echter een energetisch voordeel te behalen, daar het onder het maaiveld meestal koeler is dan boven het maaiveld en er een constante temperatuur is. Ook bij ondergrondse koel- en vriesloodsen kan een energiebesparing optreden. Bij dit idee rijzen er tal van vragen op die beantwoord moet worden en uiteindelijk moet bepaald worden of het idee van een ondergrondse opslag voor koelcontainers in combinatie met een distributiecentrum haalbaar is.

In dit hoofdrapport zal worden onderzocht welke aspecten er bij een ondergronds opslag- en distributiecentrum aan het licht komen. Er wordt in hoofdstuk 2 gestart met een inventarisatie van containers en koelcontainers. Wat zijn koelcontainers, wat wordt er in vervoerd en hoe zijn de toekomstverwachtingen? In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de werking van een containerterminal beschreven. Onderzocht wordt wat voor een soort containerterminals er zijn en wat voor een soort materieel gebruikt wordt op een containerterminal. Ook wordt geïventariseerd waarmee containers ondergronds kunnen worden gebracht. Om ondergronds op te slaan moet er rekening gehouden worden met aspecten van het ondergronds bouwen. Deze aspecten komen in hoofdstuk 4 aan de orde. Om tot een uiteindelijk ontwerp te komen van een ondergrondse opslag wordt er in hoofdstuk 5 een gebied afgebakend waarbinnen gewerkt gaat worden. Er wordt een terminal ontworpen en er worden aannames gemaakt. Vervolgens worden er in hoofdstuk 6 enkele concepten en varianten ontwikkeld voor de ondergrondse opslag en voor de ondergrondse distributieloodsen. In hoofdstuk 7 wordt een keuze uit de concepten gemaakt aan de hand van aspecten, die worden opgesteld. Deze keuze wordt verder constructief uitgewerkt. Om tot een constructief ontwerp te komen moet er eerst een functioneel ontwerp komen. Dit wordt in hoofdstuk 8 gedaan. Er zullen afmetingen voor de ondergrondse opslag bepaald worden en er zal een indeling gemaakt worden voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum. In hoofdstuk 9 worden de constructieve eisen opgesteld. Naast de randvoorwaarden, uitgangspunten en het programma van eisen worden de belastingen die op de constructie werken gedefinieerd. Het constructieve ontwerp van de ondergrondse ruimte wordt in hoofdstuk 10 gemaakt. De wanden, de kolommen, de vloer en het dak worden gedimensioneerd. Met het constructieve ontwerp kunnen vervolgens enkele kostenberekeningen worden gemaakt. Dit wordt in hoofdstuk 11 gedaan. Ook worden de besparingen berekend die op kunnen treden en wordt de haalbaarheid getoetst. Tot slot worden er in hoofdstuk 12 enkele conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

In dit hoofdrapport staan vooral de keuzes die in dit onderzoek zijn gemaakt weergegeven. Om het rapport leesbaar te houden wordt voor de berekeningen naar de bijlagen verwezen die in het rapport Bijlagen staan. Het hoofdrapport en de bijlagen zijn gescheiden, zodat de 2 rapporten naast elkaar kunnen worden gelegd als er ergens naar verwezen wordt.

2 Inventarisatie koelcontainers

2.1 Inleiding

Ondanks dat de eerste vormen van gewone containers al zeker een eeuw bestaan, duurde het lang voordat het idee van een intermodale laadkist werd gerealiseerd. Aanvankelijk pasten de containers alleen in de keten van één maatschappij, maar tegenwoordig is ruim 95% van alle containers uitgevoerd als ISO-standaard container. De ISO-standaard container is in het begin van de jaren vijftig geïntroduceerd door Maclean Trucking in de Verenigde Staten. Uit dit bedrijf is later de rederij Sealand ontstaan⁽¹⁾. De ISO-standaard container kent verschillende verschijningsvormen. De lengte van de ISO-container kan 20 of 40 voet bedragen, de breedte van een ISO-standaard container is 8 voet en de hoogte is 8 voet en 6 inch of 9 voet en 6 inch (high cube). De eenheid waarin een container wordt uitgedrukt is TEU; dit staat voor Twenty foot Equivalent Unit. Een container van 20 voet is 1 TEU en een container van 40 voet is 2 TEU.

De koelcontainer heeft zich vooral het laatste decennium sterk ontwikkeld. Containerrederijen hadden in 1995 een aandeel van 40% in het maritieme transport van koel- en vrieslading. In 1990 was hun aandeel nog maar 10 procent. De penetratie van de containerrederijen in de reefermarkt zal alleen maar verder toenemen. De grootste containerschepen worden tegenwoordig uitgerust met ruim 700 reeferplugs. Reeferplugs zijn aansluitpunten waarop reefer op een generator kunnen worden aangesloten. Door deze 700 aansluitpunten hebben deze schepen een grotere capaciteit dan de grootste conventionele reefereschepen⁽²⁾.

In dit hoofdstuk wordt geïnterviewd wat de huidige status is van koelcontainers en containers in het algemeen. In paragraaf 2.2 wordt eerst nagegaan wat voor soorten koelcontainers er op de markt zijn. Verschillende systemen worden belicht en ook de voordelen en de nadelen van elk koelsysteem komen aan de orde. Vervolgens wordt in paragraaf 2.3 een vergelijking gemaakt tussen het vervoer van koel- en vrieslading met koelschepen en het vervoer met koelcontainers. Hierin komt naar voren in welke gevallen koelcontainers gebruikt worden en in welke gevallen koelschepen voordeliger zijn. Ook is van belang om te weten welke koel- en vrieslading voornamelijk in containers wordt vervoerd, wat de containerisatiegraad van de verschillende koel- en vriesladingen is en wat de toekomstverwachtingen zijn voor deze markt. Dit wordt in paragraaf 2.4 behandeld. In paragraaf 2.5 worden de ontwikkelingen en de toekomstverwachtingen wat betreft containers en koelcontainers belicht. Zowel de wereldwijde ontwikkelingen als de ontwikkelingen in Rotterdam komen aan de orde. Aan de hand van deze cijfers kan dan een toekomstverwachting worden gegeven voor het aantal koelcontainers dat in de toekomst in Rotterdam zal worden overgeslagen. Tot slot wordt er in hoofdstuk 2.6 een aanname gedaan over de gemiddelde verblijftijd van koelcontainers op een containerterminal.

2.2 Soorten koelcontainers



Er zijn verschillende soorten koelcontainers op de markt. Zo kan er onderscheid gemaakt worden tussen containers met een geïntegreerde koelininstallatie en containers die slechts geïsoleerd zijn.

De eerste zijn de zogenaamde "integrated containers" of "integral reefers" (zie figuur 2.1). Deze containers zijn uitgerust met een generator die gevoed wordt door elektriciteit of brandstof. Op de terminal kunnen ze worden

Figuur 2.1: 40 ft. integrated container

aangesloten op het elektriciteitsnet en aan boord van een schip op een grote generator. Brandstof wordt alleen gebruikt indien er geen mogelijkheid is de container op een elektriciteitsnet aan te sluiten. Het grote voordeel van integrated containers is dat ze op meerdere en landinwaartse bestemmingen kunnen worden ingezet.

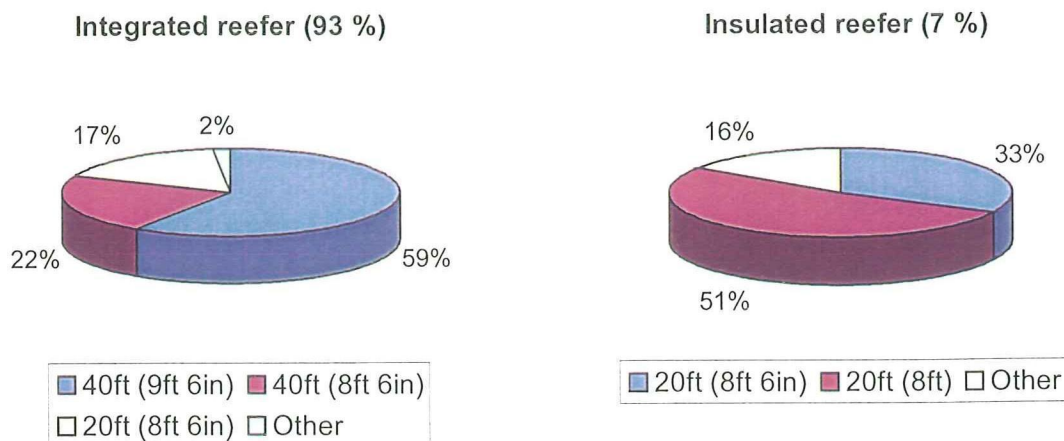
De tweede soort, de "insulated" of "porthole" container, is een geïsoleerde container die aan boord van een schip wordt aangesloten op het koelsysteem van dat schip. De koele lucht stroomt via een gat aan de onderkant de container binnen en de warmer geworden lucht stroomt dan via een gat aan de bovenkant er weer uit. Porthole containers zijn door de scheepsgebonden koeling minder flexibel dan integrated containers. Dit type container wordt niet meer gebruikt op nieuwere schepen, maar kan nog wel gevonden worden op oudere schepen. Ze worden nog gebruikt in vaargebieden als Australië, Zuid-Afrika en Latijns-Amerika. Een van de rederijen die nog veel met dit type reefer werkte is P&O Nedlloyd. Deze rederij heeft onlangs een bestelling geplaatst voor 4100 integral reefer containers ter vervanging van haar op Australië ingezette koelcontainervloot. Ook op Zuid-Amerika worden steeds meer insulated containers vervangen. Naar verwachting zal tegen het einde van dit decennium de insulated reefer container geschiedenis zijn⁽³⁾.

Tegenwoordig kunnen koelcontainers worden uitgerust met het "Controlled Atmosphere"(CA) systeem. Dit koelsysteem levert voor een bepaalde lading de juiste balans tussen zuurstof, CO₂ en stikstof, bij de goede temperatuur, zodat de lading in ideale condities wordt vervoerd. Voordelen van dit systeem in combinatie met koeling zijn onder andere⁽⁴⁾:

- Toename van de hoeveelheid producten die geschikt zijn voor zeetransport, waarbij de noodzaak van dure luchtvracht voor sommige producten wordt verminderd.
- Belangrijke uitbreiding van de distributie radius door het langer goed blijven van de goederen.
- Opening van nieuwe markten.
- Afname van productverlies door bederf.

Niet voor alle koel- en vrieslading is een optimaal klimaat nodig, maar in het groeiende transport van exotisch fruit, vlees, vis en groenten wordt de porthole container verdrongen door de CA container⁽³⁾.

In tabel 2.1 staan de meest voorkomende koelcontainers met de afmetingen en eigenschappen. Het merendeel deel van de koelcontainers bestaat uit 40 voet high-cube integrated koelcontainers, zoals te zien is in figuur 2.2. De insulated reefer zijn voor het overgrote deel 20 voet containers.



Figuur 2.2: percentages soorten koelcontainers (1999)⁽⁵⁾

Tabel 2.1: afmetingen koelcontainers⁽⁴⁾

Type	Afmetingen	Deuropeningen (mm)		Interne afmetingen (mm)		
	Feet/inches	Breedte	Hoogte	Lengte	Breedte	Hoogte
20 std.	20' x 8' x 8'6"	2286	2188	5430	2286	2155
20 std.	20' x 8' x 8'6"	2294	2201	5451	2290	2156
40 std.	40' x 8' x 8'6"	2294	2174	11577	2294	2110
40 high	40' x 8' x 9'6"	2290	2535	11577	2294	2409
40 high	40' x 8' x 9'6"	2278	2473	11578	2280	2425
45 high	45' x 8' x 9'6"	2290	2535	13102	2294	2409
Type	Gewicht (kg)			Volume (m ³) Tot laadlijn	Materiaal	
	Max. bruto	Eigen gew.	Max. lading			
20 std.	27000	2750	24250	28.6	Aluminium (insulated)	
20 std.	30480	2930	27550	27.9	Steel (insulated)	
40 std.	32500	3900	28600	56.1	Aluminium (insulated)	
40 high	32500	4150	28350	64.1	Aluminium (insulated)	
40 high	34000	4500	29500	64	Steel (insulated)	
45 high	32500	5200	27300	72.4	Aluminium (insulated)	

2.3 Koelcontainers versus Reeferschepen

De laatste jaren is de trend dat steeds meer koel- en vrieslading wordt gecontaineriseerd. Het marktaandeel van de koelcontainers is groter dan 50 % geworden en heeft daarmee qua capaciteit het vervoer in conventionele reeferschepen overtroffen. Zowel het vervoer met koelcontainers als het vervoer met reeferschepen heeft voordelen en nadelen.

Een groot voordeel van conventionele reeferschepen is dat ze een hogere beladingsgraad hebben dan de containerschepen. Ze kunnen in het oogstseizoen een grote capaciteit bieden en omdat ze niet vast zitten aan bepaalde vaarschema's kunnen ze snel inspringen op uitgestelde oogsten⁽³⁾. Een belangrijke voorwaarde is wel dat er bij de reeferschepen gebruik wordt gemaakt van die hogere beladingsgraad. Veelal gebeurt dit doordat de leveranciers samen een schip charteren. Vooral het bulkfruit, zoals bananen en (sinaas)appels, wordt nog met reeferschepen vervoerd.

Een voordeel van het vervoer per containerschip daarentegen is dat het aantal handelingen in vergelijking met een reeferschip veel minder is. De container wordt bij de leverancier geladen, gaat het schip op en hoeft in principe pas bij de afnemer uitgeladen te worden. Het merendeel van de koelcontainers wordt echter nu nog afgeleverd bij koelhuizen in de loshavens, zodat van dit voordeel nog niet optimaal gebruik wordt gemaakt. Als met een reeferschip wordt gewerkt dan wordt de vrachtwagen eerst bij de leverancier geladen, vervolgens wordt de lading gelost in een koelcel en daarna gaat het vanuit de koelcel het schip in. In de haven van bestemming vinden deze activiteiten dan nog eens in omgekeerde volgorde plaats. Hoe minder handelingen, des te beter bepaalde lading, bijvoorbeeld fruit, aankomt bij de afnemers⁽⁶⁾. Voor een aantal fruitsoorten is het daarom de trend om meer met containers te werken.

Ook voor de eis van just-in-time levering is de container in het voordeel ten opzichte van reeferschepen. De containerschepen onderhouden voornamelijk vaste, hoogfrequente lijndiensten, waarbij het principe van just-in-time goed aansluit. Het conventionele reeferschip is meer seizoensgebonden en past minder goed in het systeem van just-in-time levering. Er is een tendens om steeds meer lading op basis van just-in-time te gaan vervoeren, waardoor de koelcontainer steeds populairder wordt⁽³⁾.

Een ander voordeel is dat de lading in koelcontainers geen aparte geklimatiseerde opslagfaciliteiten vereist, omdat de containers als het echt nodig is zelf kunnen koelen als ze op de wal staan.

Een nadeel van het gebruik van containers is dat de containerschepen vaak alleen de mainports aandoen. De transporten van fruit zijn meestal seizoensgebonden en vangen vaak aan in kleinere havens, waar de containerschepen niet kunnen komen. Hier zijn dus de, kleinere, reeferschepen in het voordeel⁽³⁾.

Een belangrijkst aspect voor de keuze tussen een koelcontainer en het reeferschip zijn de kosten. Containerschepen zijn over het algemeen ongeveer 10 procent duurder dan de reeferschepen⁽⁶⁾. Echter, uitgaande van een vergelijkbare hoeveelheid lading op dezelfde route, zijn de kosten per vervoerde ton bij vervoer per container lager dan bij vervoer per reeferschip. De los- en laadkosten voor koelcontainers zijn lager dan voor reeferschepen. Daar tegenover staat dat de kosten voor de koeling bij reeferschepen lager zijn⁽³⁾. Zoals eerder al genoemd is, speelt de schaalgrootte een belangrijke rol en dit zal dan ook vaak de bepalende factor zijn of reeferschepen goedkoper zijn dan koelcontainers of omgekeerd. Voor de bulktrade, zoals bananen en appels, zijn de kosten per ton vaak lager als er per reeferschip wordt vervoerd.

2.4 Koel- en vrieslading

Onder koel- en vrieslading wordt een scala aan bederfelijke producten verstaan. Fruit is hierin de grootste deelmarkt, gevolgd door vlees, vis en zuivel. Daarnaast worden ook groenten, fruitsappen, bloembollen, medicijnen, kant en klaar maaltijden en consumptie ijs als koel- en vrieslading beschouwd⁽³⁾.

De wereldhandel in koel- en vrieslading bedroeg in 1994 78,22 miljoen ton, waarvan 49,1 miljoen ton over zee werd getransporteerd. Volgens Drewry Shipping Consultants zal de wereldhandel van koel- en vrieslading in 2005 toegenomen zijn tot 98,92 miljoen ton, waarvan 56 miljoen ton maritiem. De groei in de koel- en vriesmarkt wordt met name toegeschreven aan de toename van de welvaart⁽²⁾.

De laatste jaren wordt naar verhouding steeds meer koel- en vrieslading in koelcontainers getransporteerd. De containerisatiegraad is het grootst bij vlees en zuivel. Vooral bij de kleinere markten, zoals exotisch fruit, is de containerisatiegraad hoog. In tabel 2.2 is de containerisatiegraad voor koel- en vrieslading weergegeven voor 1994 en 2000 en de verwachting voor 2005 volgens Drewry Shipping Consultants⁽⁷⁾.

Tabel 2.2: verdeling koel- en vrieslading naar vervoerswijze (in %)⁽⁷⁾

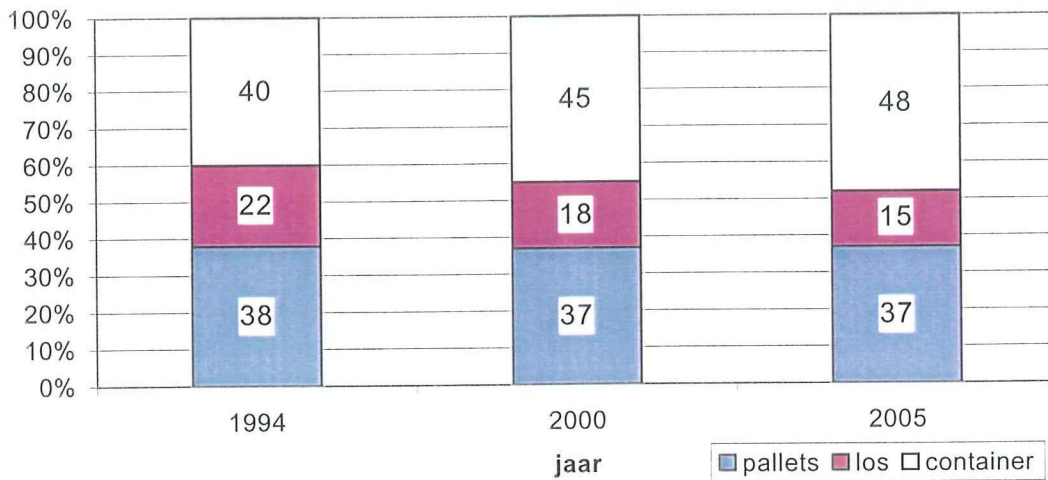
	1994			2000			2005		
	Pallets	Los	Containers	Pallets	Los	Containers	Pallets	Los	Containers
Bananen	60	23	17	67	17	16	71	15	14
Citrus	75	5	20	65	4	31	63	1	36
Deciduous¹	75	5	20	70	4	26	69	1	30
Exotisch²	50	0	50	45	0	55	40	0	60
Vlees	15	15	70	16	10	74	15	6	79
Zuivel	8	12	80	8	10	82	6	6	88
Vis	10	60	30	10	53	37	10	50	40
Overige	10	0	90	5	0	95	5	0	95
% van totaal	38	22	40	37	18	45	37	15	48

1) appels, peren en druiven

2) ananas, kiwi's en avocado's

In figuur 2.3 staat het aandeel van elke vervoerswijze in het maritiem transport weergegeven. Vooral het aandeel dat los vervoerd wordt neemt af en zal verder afnemen. Drewry verwacht dat in 2005 48 procent van de maritieme koel- en vrieslading in containers zal worden vervoerd. Uit recentere metingen blijkt echter dat het aandeel van containers nu al groter is dan 50% en dat het aandeel van containerschepen zal stijgen tot 53% in 2000 en 55% na 2000⁽²⁾.

Rotterdam is één van de grootste West Europese havens in de overslag en distributie van koel- en vrieslading. Ook hier is ongeveer de helft van de overgeslagen koel- en vrieslading gecontaineriseerd⁽²⁾. De conventionele reeferlading wordt over het algemeen overgeslagen bij Fruit Stevedores Rotterdam (Seabrex) en de containerlading wordt hoofdzakelijk aangeboden bij de ECT⁽³⁾.

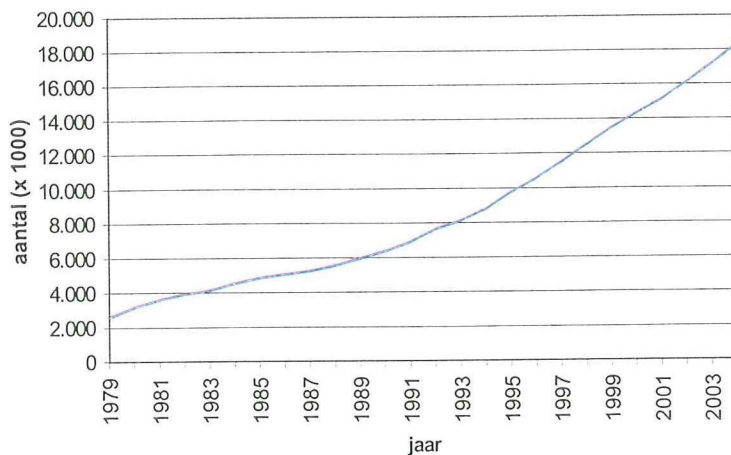


Figuur 2.3: aandeel per vervoerssoort in het maritiem transport van koel- en vrieslading (Drewry)

2.5 Ontwikkelingen en toekomstverwachtingen

2.5.1 Containers

Wereldwijd neemt het containervervoer toe. Drewry Shipping Consultants heeft een voorspelling gegeven dat de containeroverslag tussen 1997 en 2005 60% zal groeien. Vooral in West Europa, het Verre Oosten en Zuid Oost Azië wordt flink geïnvesteerd in het

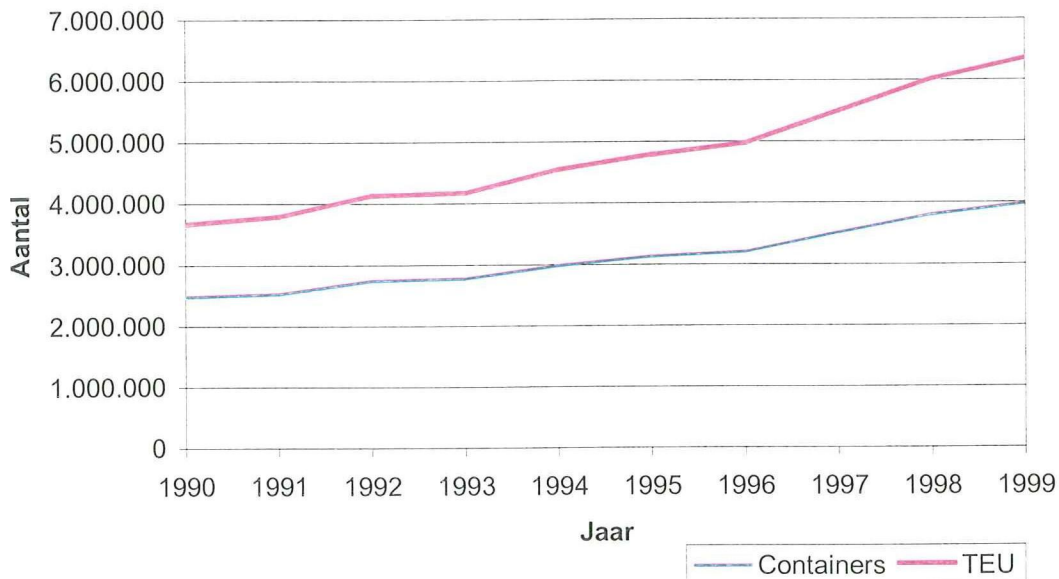


vergroten van de overslag-capaciteit. Ook aan de toename van het aantal containers is te zien dat het containervervoer stijgende is. Zo is het aantal TEU wereldwijd de afgelopen 5 jaar gemiddeld met bijna 9% per jaar toegenomen. In figuur 2.4 is de ontwikkeling van het aantal TEU te zien over de afgelopen 20 jaar en wordt er een verwachting gegeven tot eind 2004⁽⁷⁾.

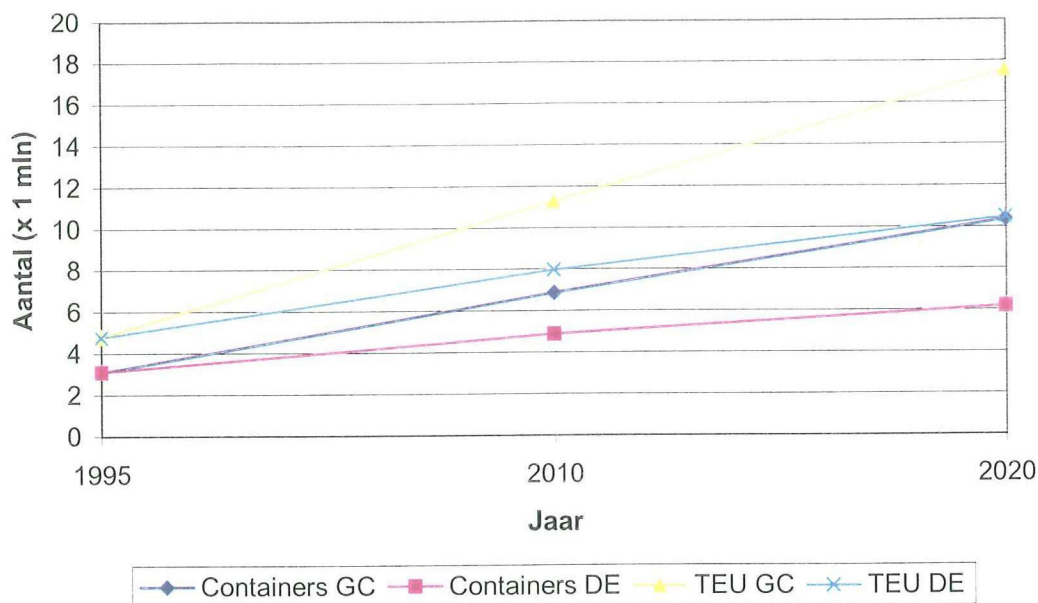
Figuur 2.4: ontwikkeling aantal TEU wereldwijd⁽⁷⁾

Ook in Rotterdam neemt de containeroverslag toe. Uit cijfers van het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam blijkt dat de containeroverslag de laatste 10 jaar gemiddeld 5,8 procent per jaar is gestegen (zie figuur 2.5)⁽⁸⁾. In deze figuur is te zien dat vooral in 1997 en 1998 er een flinke toename in de containeroverslag was, ongeveer 10 procent per jaar. Ook is er een toename waar te nemen van de ratio TEU/containers; de lijnen gaan steeds verder uit elkaar lopen. De TEU/container ratio is de verhouding tussen het aantal TEU en het aantal containers. In 1999 was deze verhouding 1,59 terwijl dit in 1990 nog maar 1,47 was. Voor 2020 wordt zelfs een toename verwacht tot 1,70⁽⁹⁾. De oorzaak van deze toename is dat er meer 40 voet containers (2 TEU) op de markt bijkomen dan 20 voet containers.

Het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) heeft in haar Goederenstromenmodel 7 (GSM7) een lange termijn voorspelling gedaan voor de overslag van containers in Rotterdam. Daarbij is er onderscheid gemaakt tussen twee groeiscenario's: het Global Competition (GC) scenario en het Divided Europe (DE) scenario. Het eerste is een positief scenario, waarbij er een sterke groei is van de economie. Het tweede is een negatief scenario, waarbij de economische groei in Europa achter blijft bij die van Noord-Amerika en Azië. De twee scenario's staan verder uitgewerkt in bijlage II. De toekomstverwachtingen volgens de twee scenario's staan weergegeven in figuur 2.6. In 2020 wordt er een containeroverslag verwacht tussen de 10,5 miljoen TEU (DE) en 17,6 miljoen TEU (GC)⁽⁹⁾. Het GHR streeft het Global Competition scenario na. In het vervolg van deze studie zal het Global Competition scenario als uitgangspunt dienen. In 1999 werden er ruim 6,3 miljoen TEU overgeslagen in Rotterdam en dit ligt tussen de twee scenario's in⁽⁸⁾.



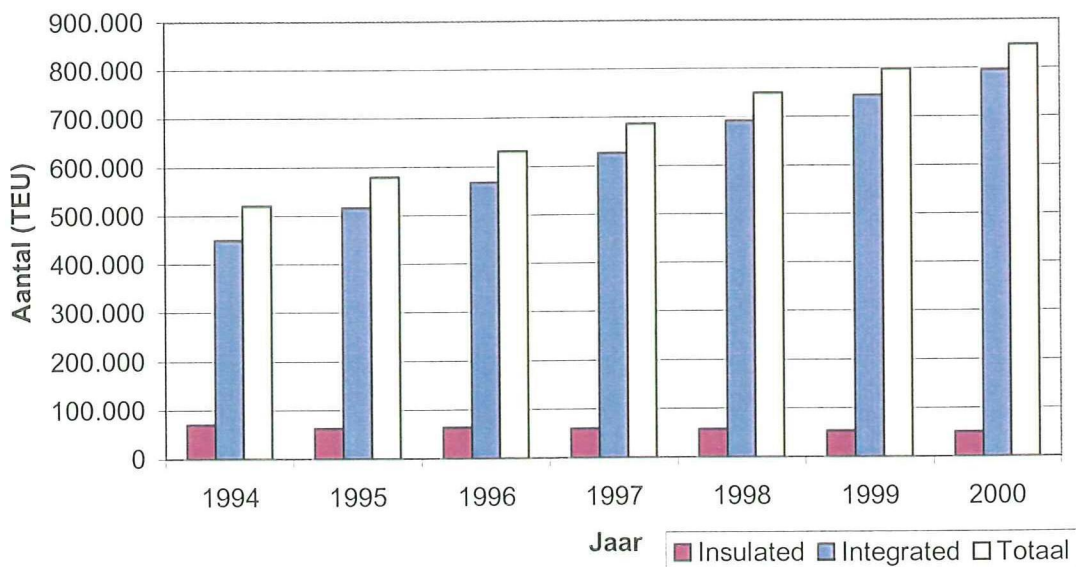
Figuur 2.5: overslag containers in Rotterdam



Figuur 2.6: toekomstverwachting voor de containeroverslag in Rotterdam volgens GSM7

2.5.2 Koelcontainers

In het voorgaande kwam al naar voren dat het transport van koel- en vrieslading in koelcontainers de laatste 10 à 15 jaar enorm is toegenomen. Het marktaandeel van de koelcontainers in het maritieme transport van koel- en vrieslading is inmiddels al groter dan het marktaandeel van de reefer schepen. De nieuwste containerschepen worden al uitgerust met 700 reeferaansluitingen en daarmee hebben deze schepen een veel grotere capaciteit dan de grootste conventionele koelschepen⁽⁷⁾. Ter illustratie: 700 reeferpoints (1400 TEU) leveren theoretisch een capaciteit van meer dan 45000 m³, terwijl één van de grootste conventionele reefer schepen "slechts" een capaciteit heeft van 26000 m³.

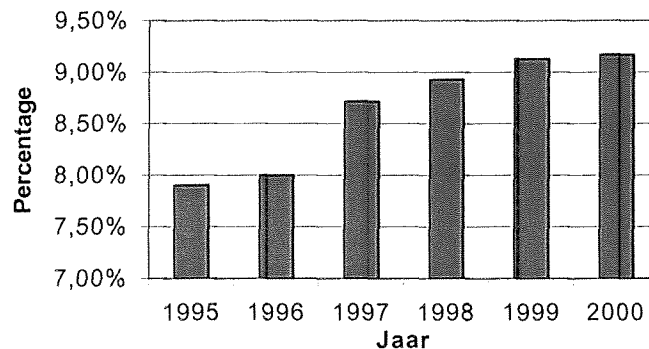


Figuur 2.7: ontwikkeling aantal koelcontainers wereldwijd⁽⁵⁾

Net zoals bij de gewone containers is de ook de vloot van koelcontainers de laatste jaren flink gegroeid. Deze absolute groei staat weergegeven in figuur 2.7⁽⁵⁾. De insulated containers nemen in aantal af en het totale aantal koelcontainers wereldwijd neemt toe. Het percentage koelcontainers bedraagt ongeveer 6,4 procent en is in de laatste jaren niet veel veranderd. Dit houdt in dat het aantal koelcontainers in de wereld procentueel net zo veel stijgt als het aantal gewone containers. Naar verwachting zal de reefercapaciteit van de wereldcontainervloot met minstens 5% per jaar stijgen⁽²⁾

In Rotterdam worden relatief veel koelcontainers overgeslagen. Uit cijfers van de ECT blijkt dat in 1995 en 1996 ongeveer 7 à 8% van de overgeslagen containers bij ECT koelcontainers waren en dat dit percentage de laatste jaren is gestegen tot boven de 9%⁽¹⁰⁾. Een oorzaak van deze stijging is dat de rederij Maersk-Sealand Rotterdam heeft verkozen als de centrale Noordwest Europese hub-poort. Omdat Maersk een toenemende interesse heeft in het reefertransport zullen er ook veel koelcontainers in Rotterdam worden overgeslagen en gedistribueerd⁽³⁾. In figuur 2.8 is het percentage koelcontainers dat bij de ECT is overgeslagen

weergegeven over de afgelopen vijf jaar. De grootste percentages werden op de Delta Multi User terminal en op de ECT Home Terminal overgeslagen. Op deze laatste terminal worden nog de porthole of insulated containers behandeld⁽¹⁰⁾. Op de Delta terminal worden bijna uitsluitend integrated containers overgeslagen. Maersk heeft inmiddels een eigen terminal op de Maasvlakte, waardoor het percentage overgeslagen koelcontainers bij de ECT naar verwachting zal afnemen.



Figuur 2.8: *percentage overgeslagen koelcontainers bij de ECT⁽¹⁰⁾*

In de Rotterdamse haven werd in 1996 ongeveer 4,5 miljoen ton koel- en vrieslading overgeslagen. De grootste deelmarkten in de koel- en vrieslading zijn groente en fruit, vlees en vis. Uit het Goederenstromenmodel 7 van het Gemeentelijk Havenbedrijf kan de totale overslag voor deze productgroepen worden gehaald. Er is een toekomstverwachting gegeven volgens het Global Competition scenario en het Divided Europe scenario voor de jaren 2010 en 2020. Hierin is onderscheid gemaakt tussen de aanvoer, de afvoer en de zee-zee-overslag.

Verder is er een verwachting van de containerisatiegraad gegeven. Hieruit is vervolgens het aantal ton berekend wat in containers is overgeslagen. De resultaten hiervan staan weergegeven in tabel 2.3, de cijfers en de berekening staan weergegeven in bijlage III. Als er van het Global Competition scenario wordt uitgegaan, wordt er in 2010 netto bijna 2 miljoen ton aan groente, fruit, vlees en vis overgeslagen in koelcontainers. Bij een gemiddelde netto belading van 8 ton per TEU komt dit neer op 250000 TEU. Te zien is dat er een stijging wordt verwacht in het gecontaineriseerde transport van deze deelmarkten.

In de toekomst wordt er uitgegaan van een percentage koelcontainers dat wordt overgeslagen van 11%. Deze aanname is gebaseerd op de cijfers van de ECT en op de toenemende containerisatie van koel- en vrieslading. Daarnaast zal ook gekeken worden naar de effecten indien dit percentage toeneemt naar 15 %

Tabel 2.3: aantal tonnen in containers (nettogewicht x 1 mln ton)

	1992	2010		2020	
		GC	DE	GC	DE
Aanvoer (excl. zee-zee)					
Groente en fruit	0,22	0,66	0,53	0,83	0,59
Vlees en vis	0,27	0,45	0,45	0,54	0,45
Afvoer (excl. zee-zee)					
Groente en fruit	0,15	0,26	0,18	0,33	0,22
Vlees en vis	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Zee-zee-overslag					
Groent en fruit	0,09	0,20	0,20	0,30	0,20
Vlees en vis	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Totaal	1,10	1,94	1,74	2,37	1,84

2.6 Verbliftijden van koelcontainers

De verblijftijd of statijd van koelcontainers is van belang bij het bepalen van de benodigde oppervlakte van de opslag. Onder de verblijftijd of statijd van een container wordt verstaan de tijd die een container doorbrengt op de opslag van een containerterminal. Een grotere gemiddelde verblijftijd betekent dat er een grotere opslag nodig is.

De verblijftijd van koelcontainers hangt onder andere af van het tijdstip dat de container wordt opgehaald van de containerterminal. De container kan worden opgehaald en direct naar de afnemer worden gebracht of de container kan naar het distributiecentrum worden gebracht, waar de container wordt uitgepakt. In het eerste geval kan de verblijftijd in principe kort zijn omdat de afnemer weet wanneer de container ongeveer aankomt. In het tweede geval hangt de verblijftijd af van de capaciteit van het distributiecentrum.

De verblijftijd is ook afhankelijk van de lading in de containers. Containers met fruit worden meestal binnen 24 uur opgehaald op de terminal, terwijl containers met vrieslading langer op de terminal staan

Uit cijfers van de ECT blijkt dat de gemiddelde statijd van koelcontainers op de Maasvlakte ongeveer 4 dagen is. Voor de verschillende terminals varieert de statijd tussen de 3 en 5 dagen.

De gemiddelde statijd van alle containers op een terminal op de Maasvlakte ligt rond de 5 dagen⁽¹⁰⁾. Hierbij moet wel worden bedacht dat importcontainers (van zee komend) over het algemeen korter in de opslag staan dan exportcontainers.

Doordat in deze haalbaarheidsstudie de opslag naast het distributiecentrum ligt kan de verblijftijd in de opslag voor de koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan afnemen. De koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan kunnen sneller worden behandeld en hoeven niet te wachten op vervoer naar het distributiecentrum. De kortere verblijftijd in de opslag kan een aanzienlijke ruimtebesparing opleveren.

Omdat niet alle koelcontainers naar het distributiecentrum zullen gaan wordt voor de gemiddelde verblijftijd voorlopig uitgegaan van 3 dagen. In een later stadium zullen de verblijftijden meer specifiek worden aangenomen. In bijlage IV is gekeken naar het effect van een langere of kortere verblijftijd.

2.7 Conclusie

In dit hoofdstuk is aangetoond dat de markt voor koel- en vrieslading in koelcontainers de laatste jaren is toegenomen en de verwachting is dat dit nog verder toeneemt. De koel- en vrieslading wordt voornamelijk vervoerd in 40 voet integral reefers. Deze integral reefers, ook wel mobiele koelkasten genoemd, verdringen de porthole containers. De totale capaciteit van de koelcontainers heeft inmiddels de capaciteit van de conventionele reefervloot overtroffen. Ondanks dat het vervoer van koel- en vrieslading per koelcontainer 10 procent duurder is dan het vervoer per reeferschip wint de koelcontainer in populariteit. Koelcontainers zijn flexibeler in het gebruik dan reeferschepen en koelcontainers sluiten goed aan bij het principe van just-in-time levering.

In Rotterdam worden relatief veel koelcontainers overgeslagen. Ze worden hoofdzakelijk overgeslagen door de ECT. Van alle containers die worden overgeslagen bij de ECT is nu al meer dan 9 procent koelcontainer. Voor de toekomst wordt uitgegaan van een percentage koelcontainers van 11 procent en een gemiddelde verblijftijd van 3 dagen.

3 Inventarisatie transporttechnieken en materieel

3.1 Inleiding

Op een containerterminal kunnen verschillende transporttechnieken worden toegepast om de containers over te slaan. De nieuwste containerterminals, zoals de ECT-DDW terminal op de Maasvlakte, zijn vaak voor een belangrijk deel geautomatiseerd. Op wat oudere terminals, zoals de ECT Home terminal in de Waalhaven of de Multi User terminal op de Maasvlakte, wordt het materieel voor de containeroverslag, handmatig bediend. Het materieel dat wordt gebruikt om de containers mee over te slaan is divers en hangt af van de transporttechniek die op de containerterminal gehanteerd wordt.

Dit hoofdstuk behandelt de verschillende transporttechnieken en het materieel wat daarbij ingezet kan worden. Eerst wordt er in paragraaf 3.2 een beeld gevormd hoe het overslagproces van containers op een moderne terminal (bijvoorbeeld op de Maasvlakte) in zijn werk gaat en wat de mogelijkheden daarbij zijn. In paragraaf 3.3 wordt vervolgens ingegaan op het materieel dat op een containerterminal kan voorkomen. De eigenschappen van elk werktuig zullen aan de orde komen net als de functieervulling: is het werktuig alleen voor overslag van containers te gebruiken, alleen voor transport of is het werktuig voor beide functies geschikt? In paragraaf 3.4 worden enkele transporttechnieken behandeld. Er wordt nagegaan welk materieel geschikt is voor een bepaalde transporttechniek en welke niet. Ook worden de transporttechnieken op enkele bestaande terminals belicht. Tot slot worden in paragraaf 3.5 de mogelijkheden van het verticale transport om de koelcontainers naar een ondergrondse opslag te vervoeren op een rijtje gezet in combinatie met het bestaande materieel.

3.2 Containerterminal

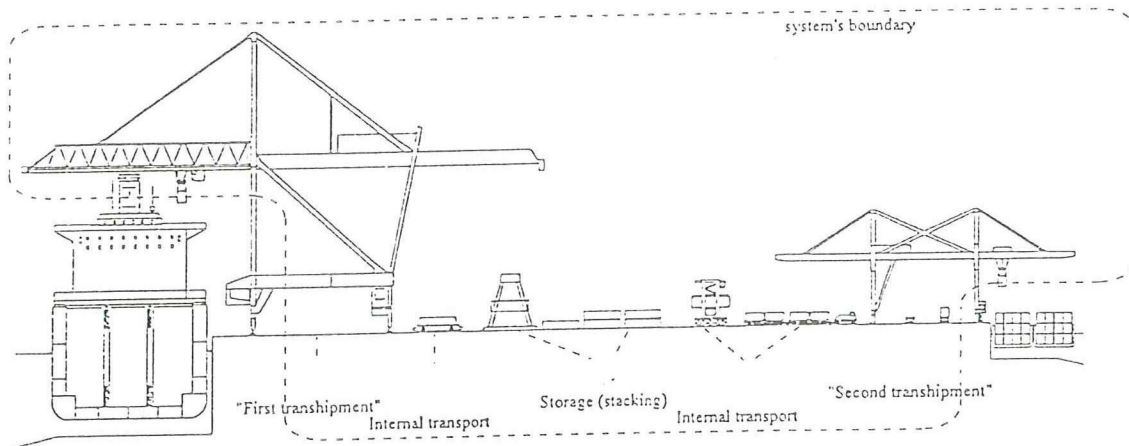
Een containerterminal is een schakel in de transportketen van containers⁽¹¹⁾. Naast grote zeeterminals zijn er ook kleinere terminals landinwaarts of in kleinere zeehavens. Voor de beschrijving van het proces op een containerterminal wordt uitgegaan van een grote zeeterminal, zoals de ECT terminal op de Maasvlakte. Het proces van containers op de containerterminal voor een van zee binnenkomend containerschip gaat als volgt in zijn werk: Na aankomst van een schip wordt het schip gelost met speciale containerkranen. De containers worden met voertuigen naar de opslag (stack) vervoerd. De containers worden in de opslag geplaatst, wachtend op verder vervoer naar het achterland of een andere haven. Hiervoor zijn vijf mogelijkheden:

- vervoer per vrachtwagen
- vervoer per trein
- vervoer per binnenvaartschip
- vervoer per feederschip
- vervoer per deep-sea schip

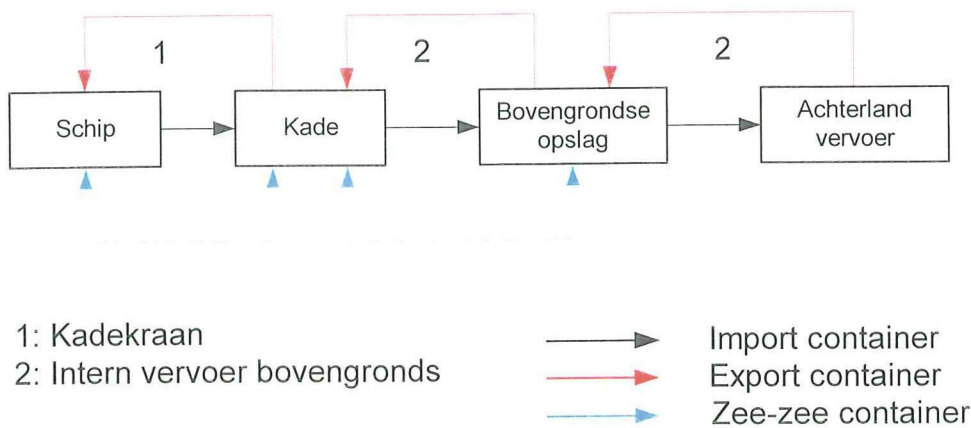
De container wordt uit de opslag gehaald (reclaiming) en vervolgens naar de plaats gebracht waar respectievelijk de vrachtwagens, de treinen, de binnenvaartschepen, de feederschepen en de deep-sea schepen geladen worden.

Het bovenstaande proces is het proces voor de import van containers. De export van containers gaat in principe hetzelfde, alleen in omgekeerde volgorde. De containers komen via de verschillende achterlandverbindingen aan op de terminal en worden opgeslagen. Zodra het schip aan de kade ligt worden de containers van de opslag gehaald, naar het schip vervoerd en erop geplaatst.

Figuur 3.1 laat een doorsnede van een containerterminal zien. Binnen de systeemgrenzen wordt een container een aantal keer overgeslagen en men spreekt bij het transport van de container op de terminal van intern transport. Het hele proces van containeroverslag op de terminal staat schematisch weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.1: doorsnede van een marine containerterminal⁽¹²⁾



Figuur 3.2: schematisch proces op containerterminal

Vrachtwagens worden vaak geladen naast de opslag, zodat de afstand van het interne transport klein is. Een rail service center, waar de treinen worden geladen, ligt vanwege zijn grootte meestal niet direct naast de opslag. De containers worden vanuit de opslag met intern transport naar het rail service center gebracht, eventueel daar nog opgeslagen en tenslotte op de treinen geladen.

Voor het vervoer per binnenvaartschip is een aantal mogelijkheden. Als er een speciale binnenvaartterminal is dan worden de containers vanuit de opslag naar deze terminal vervoerd, eventueel daar nog opgeslagen en vervolgens op het binnenvaartschip geladen. Een andere mogelijkheid is dat de binnenvaartschepen aan de zeekade liggen en daar worden geladen. Feederschepen worden over het algemeen aan de zeekade geladen en gelost. Tot slot is er nog het deep-sea deep-sea overslag. Dit type vervoer is iets van de laatste jaren. In feite zijn het gewoon zee-zee handelingen, net zoals bij een feederschip. Een feederschip doet alleen kleinere havens aan, terwijl deep-sea schepen slecht een beperkt aantal havens per regio aan doen.

Voor koelcontainers, containers met gevaarlijke stoffen of afwijkende containers geldt in principe hetzelfde proces, alleen ze worden in een aparte opslag geplaatst omdat ze vaak meer ruimte innemen. Voor koelcontainers geldt bovendien dat er iemand moet zijn om de container aan het elektriciteitsnet te koppelen.

Naast het overslaan van containers kunnen er op de terminal ook nog een aantal andere activiteiten plaatsvinden. Vaak vindt er opslag en eventueel reparatie van lege containers plaats. Lege containers kunnen wel 8 of 9 hoog worden gestapeld, zodat ze relatief weinig ruimte innemen. Ook het “strippen” en “stufen” (leggen en vullen) van containers kan gedeeltelijk op de terminal plaatsvinden⁽¹¹⁾.

3.3 Materieel

Er bestaat een diversiteit aan materieel om de container over te slaan en te vervoeren. Afhankelijk van de terminalgrootte en lokale omstandigheden kan gekozen worden voor een bepaald type materieel of werktuig. In de volgende paragrafen wordt een beknopt overzicht gegeven van de verschillende werktuigen die voor kunnen komen op een terminal. De belangrijkste voordelen en nadelen komen hierbij aan de orde. Voor een uitgebreid overzicht van het materieel op een containerterminal wordt verwezen naar bijlage V. Naast een uitgebreidere beschrijving wordt het materieel ook toegelicht met foto's en illustraties. Er kan onderscheid worden gemaakt in materieel dat uitsluitend een overslagfunctie kan vervullen, materieel dat uitsluitend een vervoersfunctie heeft en materieel die beide functies zelfstandig kan uitvoeren.

3.3.1 Materieel met alleen een overslagfunctie

Het materieel dat alleen een overslagfunctie heeft is vaak te vinden in de opslag van een containerterminal, maar ook op plaatsen waar containers worden overgeslagen op verschillende vervoersmodaliteiten. Een eigenschap van materieel met een overslagfunctie is dat ze de container zelf kunnen oppakken. Onderstaand de verschillende typen materieel met alleen een overslagfunctie.

Kadekraan

Voor de overslag van containers van het schip naar de kade en omgekeerd worden speciale containerkranen gebruikt, ook wel supertainers of portainers genoemd. Deze kranen worden steeds groter om de steeds grotere containerschepen te kunnen behandelen. Er zijn al kranen met een reikwijdte van 55 meter vanaf de kade om zo de nieuwste, nog te bouwen, containerschepen te kunnen behandelen⁽¹³⁾.

Het laden of lossen van een container met een kadekraan duurt ongeveer 1 minuut. Afhankelijk van de efficiëntie worden er ongeveer 30 en 40 containers per uur gelost. Door verrijden van de kraan, rustpauzes, wisselingen van kraanbestuurders neemt de capaciteit van een kraan af⁽¹¹⁾.

Gantry Cranes

Gantry Cranes zijn portaalkranen die voornamelijk in de opslag van een terminal gebruikt worden of voor de overslag naar het spoor. Hoewel deze kranen voornamelijk een overslagfunctie vervullen, vervullen ze ook een kleine transportfunctie. Zo kunnen ze bijvoorbeeld het transport van een container in de opslag verzorgen. Voor intern vervoer op een containerterminal zijn ze niet geschikt. De portaalkranen zijn er in twee uitvoeringen: de Rubber Tired Gantry crane (RTG) en de Rail Mounted Gantry crane (RMG).

De RTG rijdt op rubber banden en is dus flexibel inzetbaar op de terminal. De besturing van een RTG is niet automatisch en moeilijk, waardoor de rijsnelheid laag is, ongeveer 5 tot 8 km/h. De capaciteit is groot wanneer er weinig gereden wordt. Een RMG daarentegen kan wel worden geautomatiseerd en is meer plaatsgebonden dan een RTG.

Enkele voordelen van een RMG ten opzichte van een RTG zijn⁽¹³⁾:

- RMG's hebben vaak een grotere spanwijdte en kunnen hoger stapelen dan RTG's waardoor de opslagdichtheid groter is.
- RMG's kunnen zich sneller verplaatsen dan RTG's. Dit komt vooral door de simpelere besturing van RMG's.
- RMG's zijn makkelijker te automatiseren.

Enkele nadelen van een RMG ten opzichte van een RTG zijn⁽¹³⁾:

- RMG's zijn veel minder flexibel dan RTG's, doordat ze alleen over rails kunnen rijden. RMG's zijn vaak gebonden aan één stack terwijl een RTG gemakkelijk van stack kan wisselen.
- RMG's zijn over het algemeen groter en zwaarder dan RTG's. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld funderingskosten hoger uitvallen.
- Als er een verandering in de lay-out van de terminal plaatsvindt, bijvoorbeeld om de capaciteit te vergroten, betekent dat, dat de rails van de RMG eventueel moet worden verlegd. Bij gebruik van RTG's ontstaat dit probleem niet.
- RMG's zijn veel duurder dan RTG's.

Overhead bridge crane

De overhead bridge crane (OBC) is een nieuw type kraan voor in de opslag die voornamelijk de overslagfunctie vervult. Het is te vergelijken met een RMG. De OBC is een volautomatische kat die op betonnen balken boven de grond rust. Op deze betonnen balken is rails gemonteerd waarover de kat heen en weer kan rijden. De spreader hangt niet aan kabels maar aan vaste stalen stangen, zodat het windeffect wordt uitgeschakeld en er nauwkeurig gepositioneerd kan worden⁽¹⁵⁾. Hierdoor kunnen zelfs vrachtwagens automatisch geladen worden.

Een nadeel van het systeem is dat herindeling van de terminal kostbaar is vanwege het afbreken van de betonnen geleiders. Een voordeel van het systeem is dat er op het maaiveld geen dynamische belastingen zijn ten gevolge van rijdend materieel.

3.3.2 Materieel met alleen een transportfunctie

Materieel met alleen een transportfunctie wordt hoofdzakelijk gebruikt voor het interne transport op een terminal. De voertuigen kunnen zelf de container niet oppakken en er moet bij deze voertuigen altijd gebruik worden gemaakt van een ander type materieel dat wel een overslagfunctie heeft. Een andere gemeenschappelijke eigenschap voor dit soort materieel is dat ze relatief grote afstanden kunnen overbruggen.

Terminaltrekker en terminaltrailers

Een manier om containers te vervoeren van de kade naar de opslag is de terminaltrailer getrokken door een terminaltrekker. De terminaltrailer heeft twee achterassen en geen vooras. De voorkant wordt ondersteund door de trekker. Een trailer kan 2 TEU vervoeren. Doordat de trailer een relatief goedkoop werktuig is kan bij een korte verblijfsduur van de container op de terminal de container op de trailer blijven staan⁽¹¹⁾. De trekker wordt meestal aangedreven door een dieselmotor en is lichter uitgevoerd dan een truck voor op de weg. De maximale snelheid is ongeveer 35 km/h. Met een terminaltrekker kan goed worden gemanoeuvreed. Andere voordelen van de combinatie terminaltrekker en terminaltrailer zijn dat de trailer snel te ontkoppelen is, dat de bestuurder van de terminaltrekker een goed zicht heeft naar opzij en naar achteren, dat de combinatie betrouwbaar is, flexibel is en een lange levensduur heeft. Een nadeel van de combinatie is dat er een ander werktuig aan te pas moet komen om de trailer te laden en te lossen. Deze manier van intern transport is vooral geschikt voor kleinere terminals.

Multi trailer systeem

Op terminals met een grotere doorvoer wordt het zogenaamde multi trailer systeem gebruikt. Bij dit systeem trekt de terminaltrekker niet 1 trailer maar meerdere trailers. De trailers hebben een bestuurbare voor en achteras en zijn dus heel anders uitgevoerd dan een enkele trailer. Dit heeft als gevolg dat de trekker en de trailers nagenoeg dezelfde baan volgen. In principe kunnen er 7 trailers achter de trekker geplaatst worden, maar gebruikelijk is dat er maar 5 trailers achter worden geplaatst. In het laatste geval is de hele trein ongeveer 80 meter lang en heeft de trein een minimum bochtstraal van 20 meter⁽¹¹⁾. Het grote voordeel van een multi trailer systeem is de grote capaciteit. De manoeuvreerbaarheid is echter minder goed dan bij een enkele trailer.

Automated Guided Vehicle

Een Automated guided vehicle (AGV) is de nieuwste ontwikkeling voor het interne transport op een terminal. De AGV, ook wel automatisch geleid voertuig genoemd, is een onbemand voertuig voor transport van containers, hoofdzakelijk tussen de kadekraan en de opslag. De rijsnelheid van een AGV was in het begin vrij langzaam, ongeveer 10 km/h. Doordat de AGV harde banden heeft en geen vering is het dynamisch gedrag slecht en dit heeft invloed op de rijsnelheid. Een andere belangrijke reden voor deze lage snelheid is dat het communicatie-systeem van de AGV met de centrale niet snel genoeg is. Tegenwoordig kunnen AGV's sneller rijden, ongeveer 20 km/h. Bij grote aantallen AGV's kan er een grote capaciteit worden behaald op de terminal.

3.3.3 Materieel met transportfunctie en overslagfunctie

Tot slot wordt het materieel beschouwd dat zowel de overslag- als de transportfunctie kan vervullen. Deze werktuigen kunnen de containers zelf oppakken en vervoeren. Omdat ze beide functies kunnen vervullen zijn deze voertuigen over het algemeen flexibel inzetbaar maar hebben vaak een lagere capaciteit dan het materieel dat gespecialiseerd is op één functie.

Straddle carrier

De straddle carrier is een klein portaal op wielen dat over één container heen kan rijden. De container wordt net zoals bij een gantry crane opgepakt met een spreader aan staalkabels en wordt door de straddle carrier in lengterichting vervoerd. De bestuurder zit bovenin en dwars op de rijrichting, wat de besturing erg moeilijk maakt. Een straddle carrier kan in geladen toestand 20 à 25 km/h rijden, wat veel sneller is dan een gantry crane. Straddle carriers worden gebruikt in de opslag maar ook voor het laden en lossen van containers op vrachtwagens, treinstellen en trailers⁽¹¹⁾.

Voor terminals met een jaarlijkse doorvoer van 150.000 TEU tot 3.000.000 TEU is een systeem dat gebruik maakt van straddle carriers het snelste alternatief. Dit komt doordat straddle carriers erg flexibel zijn en in combinatie met elk ander type materieel te gebruiken zijn⁽¹⁴⁾. Een ander voordeel is dat de containers nauwkeurig kunnen worden gepositioneerd. Een nadeel is dat straddle carriers niet erg betrouwbaar zijn en dat er slechts één container tegelijk vervoerd kan worden⁽¹¹⁾.

Een nieuwe ontwikkeling uit de hoge straddle carrier is de lage straddle carrier. Deze straddle carriers worden uitsluitend voor het vervoer van de kade naar de opslag gebruikt.

Het grote voordeel van deze lage straddle carriers ten opzichte van een AGV is dat ze zelf een container kunnen oppakken. Een ander voordeel is dat er minder van nodig zijn. De kadekraan kan de containers op de kade zetten, waardoor er zich een buffer kan vormen. Op dit moment wordt er onderzoek gedaan om deze voertuigen te automatiseren. Ze worden dan Automated Lift Vehicles (ALV) genoemd. Hoewel deze voertuigen nog niet bestaan worden ze wel in het onderzoek meegenomen.

Reachstackers

De reachstacker is een sterk, zeer flexibel en handgestuurd voertuig met een uitschuifarm. Aan de arm hangt een spreader die 20ft en 40ft containers kan oppakken. Reachstackers kunnen worden ingezet in de opslag van een terminal. Vaak gaat het hierbij dan om een terminal met een kleine doorvoer. Verder worden ze gebruikt voor het laden en lossen van vrachtwagens en treinen. Het grote voordeel van een reachstacker is dat er over een voertuig of een container heen kan worden gewerkt, waardoor er een besparing in rijtijd kan worden verkregen. Een ander voordeel is dat de reachstacker een draaispreader heeft waardoor het voertuig niet loodrecht op de container hoeft te worden gepositioneerd. Een nadeel is dat er maar één container tegelijkertijd vervoerd kan worden⁽¹¹⁾.

Forklift trucks

Forklift trucks, of vorkheftrucks, komen in verschillende soorten en maten voor. Ze worden vooral gebruikt op wat kleinere terminals en kunnen zowel lege als volle containers behandelen. Er bestaan ook werktuigen die groter zijn dan een forklift truck maar in principe dezelfde functies kunnen vervullen. Voorbeelden hiervan zijn de frontloader en de sideloader. De specifieke eigenschappen van deze voertuigen zijn te vinden in bijlage IV. Over het algemeen hebben forklift trucks grote wiellasten, hetgeen extra eisen stelt aan de ondergrond. De opslagdichtheid is klein bij deze voertuigen, omdat ze relatief veel ruimte nodig hebben om te manoeuvreren in de opslag. Een voordeel is wel dat ze flexibel zijn.

3.4 Transporttechnieken

Voor het ontwerp van een terminal en de keuze van het materieel is geen eenduidige procedure vastgelegd. Afhankelijk van de doorzet van de terminal en de lokale omstandigheden kan gekozen worden voor een bepaalde transporttechniek om de containers over te slaan⁽¹¹⁾. Er wordt onderscheid gemaakt tussen transporttechnieken die gebruik maken van geautomatiseerd materieel en transporttechnieken die gebruik maken van handbediend materieel.

Een belangrijk aspect bij de keuze van een transporttechniek en het materieel is dat het hele systeem op elkaar afgestemd moet zijn. Het heeft bijvoorbeeld geen zin om een snelle post-Panamax kraan te kiezen als de capaciteit van het interne transport naar de opslag niet toereikend is.

Het doel van elke terminal is om zoveel mogelijk containers over te slaan tegen een zo laag mogelijke prijs. De tijd dat een containerschip aan de kade ligt wordt uit kostenoverwegingen geminimaliseerd. Dit betekent dat het schip zo snel mogelijk gelost en geladen moet worden, hetgeen weer betekent dat de kadekranen altijd op volle snelheid moet draaien. Er zijn allerlei ontwikkelingen om een schip sneller te laden en lossen. Systemen met een dubbel trolley systeem maar ook meer kranen per schip, zoals op de Ceres terminal in Amsterdam, zijn een mogelijkheid. Hier is op de containerterminal een insteekdok gemaakt waardoor er aan beide zijden van het schip kranen staan die het schip kunnen laden en lossen.

Om het laden en lossen van containers continu en zonder oponthoud te laten verlopen dient de capaciteit van het interne transport in ieder geval groter te zijn dan de capaciteit van de kadekranen die het schip lossen, zodat er ten alle tijden een AGV of een trailer klaar staat om de container op te zetten. De kadekraan kan de container eventueel ook nog op de kade zetten. Er moet dan een ander voertuig aan te pas komen om de container op het voertuig voor het interne vervoer te zetten of dit voertuig moet de container zelf kunnen oppakken en vervoeren, zoals een straddle carrier. Indien de containers op de kade worden gezet kan er zich een soort buffer vormen. Hierdoor zijn de kadekraan en het interne transport minder van elkaar afhankelijk.

Een goed uitgangspunt is om het aantal soorten werktuigen op een terminal te beperken. Dat maakt de bedrijfvoering en het onderhoud eenvoudiger en goedkoper. Aan de indeling van diverse terminals is te zien welke typen materieel goed gecombineerd kunnen worden op een terminal. Hieronder zullen kort een aantal specifieke transporttechnieken worden behandeld die voorkomen op bestaande en nog aan te leggen containerterminals. In bijlage V is een uitgebreid overzicht opgenomen van deze transporttechnieken en terminals. In bijlage V is ook het proces op deze terminals beschreven.

Terminals met geautomatiseerd equipement

Terminals met een grote jaarlijkse doorvoer worden de laatste jaren steeds meer geautomatiseerd. De belangrijkste redenen voor het automatiseren van materieel zijn onder andere: besparing op de hoge arbeidskosten op lange termijn, vermindering van menselijke fouten en motivatieproblemen bij mensen en tot slot het bereiken van een terminal die 24 uur per dag in bedrijf is⁽¹³⁾. Een nadeel van geautomatiseerde terminals is vaak de hoge investering. Voorbeelden van bestaande of nog aan te leggen (gedeeltelijk) geautomatiseerde terminals zijn:

- ECT DDE, DDN en DDW terminals op de Maasvlakte
- MSC-terminal in Antwerpen
- Pasir Panjang terminal in Singapore
- Container Terminal Altenwerder in Hamburg
- Thamesport terminal aan de mond van de Thames bij Londen

Terminals gebaseerd op het straddle carrier concept

Het straddle carrier concept is een klassiek concept dat nog op veel terminals wordt toegepast. Het concept houdt in dat de opslag op dit type terminal door straddle carriers wordt behandeld. De straddle carriers kunnen in de lengterichting over een rij containers heen rijden en tot maximaal 4 hoog stapelen. Voorbeelden van typische straddle carrier terminals zijn:

- DMU terminal op de Maasvlakte
- ECT Home terminal in Rotterdam
- De Ceres terminal in Amsterdam
- Containerterminal Bremerhaven

De stacks van een terminal die met straddle carriers werkt, hebben een ander patroon dan stacks die behandeld worden met een ASC. De opslagdichtheid is minder groot. Een voordeel van dit concept is dat het heel flexibel is. Een straddle carrier is niet aan één stack gebonden, hetgeen wel het geval is bij een ASC of een RMG.

Terminals gebaseerd op reachstackers en ander materieel

Kleinere terminals, zoals inland terminals en feeder terminals, maken vaak gebruik van reachstackers of ander klein materieel zoals frontloaders en forklift trucks. Deze terminals hebben een kleine jaarlijkse doorvoer. De ruimte die nodig is voor de opslag van de containers is bij gebruik van reachstackers relatief groter dan bij het gebruik van bijvoorbeeld straddle carriers. Dit komt door dat er meer ruimte nodig is om te manoeuvreren.

3.5 Verticaal transport naar de ondergrondse opslag

In het voorgaande ging het vooral over het horizontaal transport van een container op een containerterminal. In deze haalbaarheidsstudie komt daar vanwege de ondergrondse opslag een nieuwe dimensie bij, namelijk het verticaal transport van een container. Onder verticaal transport wordt hier verstaan, het transport van containers bovengronds naar ondergronds of omgekeerd. Voor dit transport zijn een aantal mogelijkheden te bedenken. Afhankelijk van de plaats van de ondergrondse opslag op de terminal en het gekozen materieel (en dus het horizontaal transport) kan voor het verticale transport een bepaalde techniek worden gekozen. Op dit moment wordt er nog nergens ter wereld gebruik gemaakt van een ondergrondse opslag voor containers. Voor het verticaal transporteren van goederen zijn al wel technieken ontwikkeld. Hieronder staat een aantal mogelijkheden voor het verticale transport op een containerterminal.

3.5.1 Liftconstructie

Een liftconstructie is een voor de hand liggende mogelijkheid voor het verticaal transporteren van containers. Een lift kent velerlei verschijningsvormen en is de meest voorkomende manier voor het verticaal transporteren van goederen en mensen. Een lift kan aan kabels hangen met een contragewicht of hydraulisch zijn.

Indien op een containerterminal een lift wordt toegepast om containers onder de grond te brengen, moet goed worden bedacht met behulp van welk type materieel dit het beste kan plaatsvinden: wordt alleen de container in de lift geplaatst of ook het werktuig dat de container naar de lift heeft vervoerd? In geval van een straddle carrier of een reachstacker, zou de lift erg groot en hoog worden. Een AGV of een lage straddle carrier zijn hier wel of meer geschikt voor. Indien alleen de container in de lift wordt gezet zou de container ondergronds met een soort uitschuifarm of lopende band systeem uit de lift moeten worden gehaald.

Afhankelijk van de benodigde capaciteit kan worden gekozen voor één of meerdere liften. Als één lift voldoende blijkt te zijn is het vaak toch praktischer om voor twee liften te kiezen, vanwege de downtime van een lift, zodat er te allen tijde een lift operationeel is. Het voordeel van een lift is dat hij relatief weinig ruimte inneemt.

3.5.2 Rijbaan onder een helling

Een andere mogelijkheid om containers onder de grond te krijgen is een rijbaan onder een helling, zoals bij een ondergrondse parkeergarage. Een rechte rijbaan onder een helling neemt echter veel ruimte in, hetgeen niet gewenst is. Een manier om dit enigszins op te vangen is om de rijbaan cirkelvormig naar beneden te laten lopen. Dit stelt echter hoge eisen aan het te gebruiken materieel, waardoor een aantal type werktuigen direct afvallen voor gebruik.

Een voordeel van een rijbaan onder een helling is dat zowel bovengronds als ondergronds gebruik kan worden gemaakt van hetzelfde werktuig en de container daardoor minder keren overgeslagen hoeft te worden. Een nadeel van een rijbaan onder een helling is dat het materieel extra vermogen moet leveren om het hoogteverschil te overbruggen. Dit stelt dus extra eisen aan de werktuigen. Indien alle werktuigen voor het interne transport dit extra vermogen moeten kunnen leveren, kunnen de kosten hoog oplopen.

3.5.3 Kadekraan laat container direct zakken

Een derde mogelijkheid om containers onder de grond te krijgen is dat de kadekraan de container direct onder de grond laat zakken. De container wordt dan ondergronds naar de opslag vervoerd, bijvoorbeeld door middel van een lopend band of een AGV. Bij deze mogelijkheid wordt het interne transport van gewone containers en koelcontainers direct na het lossen gescheiden. Een nadeel van dit systeem is echter wel dat de kraanproductie lager wordt, door de grotere afstand die de kat moeten afleggen. Een ander nadeel is dat er over de gehele lengte van de kade een opening moet zijn om de container te laten zakken. De kadekranen staan nooit op één vaste plek.

3.5.4 Straddle carrier laat container zakken

Deze mogelijkheid lijkt op de vorige mogelijkheid. De straddle carrier rijdt met een container over een opening in de grond heen en laat de container, hangend aan de spreader, vervolgens zakken. Ondergronds wordt de container dan verder vervoerd en opgeslagen. Een voordeel ten opzichte van de kadekraan is dat er maar één plaats nodig is voor de opening naar de ondergrondse opslag. Indien de terminal gebaseerd is op het straddle carrier concept, kan deze methode erg effectief zijn. Indien er met andere werktuigen voor het interne transport wordt gekozen, moet er een extra overslag plaatsvinden.

3.5.5 Gantry crane laat container zakken


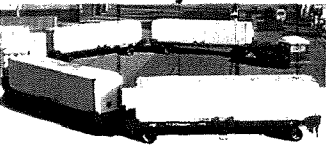
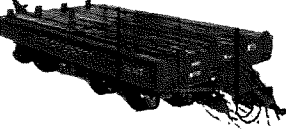
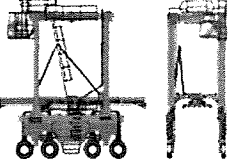


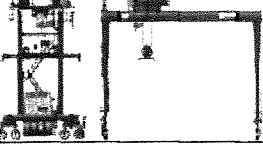

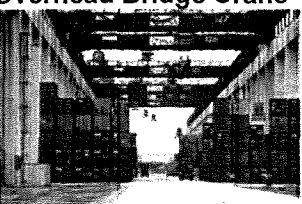
Indien wordt gekozen voor een terminal gebaseerd op een ASC of een RMG, kan de ASC of de RMG de container ook door een opening in de grond laten zakken. Dit is hetzelfde principe als bij een straddle carrier. De overslag naar de ondergrondse opslag kan bij één stack plaatsvinden.

3.6 Conclusie

In paragraaf 3.3 en bijlage V is een overzicht gegeven van het beschikbare materieel. Uit dit overzicht is gebleken dat bepaalde type werktuigen meer geschikt zijn voor grote terminals en bepaalde werktuigen meer geschikt zijn voor kleinere terminals. De meer geavanceerde werktuigen, zoals een ASC, een RMG en een OBC voor in de opslag en een ALV en een AGV voor het interne vervoer, zijn vanwege de hoge investeringskosten eigenlijk alleen geschikt voor een containerterminal met een grote jaarlijkse doorvoer en capaciteit. Voor terminals met een kleine doorvoer zijn de terminal trailers, straddle carriers, reachstackers en de forklift trucks meer in het voordeel, hoewel straddle carriers vanwege hun flexibiliteit en multi trailers vanwege hun grote capaciteit ook goed zijn toe te passen op terminals met een grote jaarlijkse doorvoer. In tabel 3.1 staat een overzicht gegeven.

Veel bestaande terminals zijn gebaseerd op het straddle carrier principe. De laatste jaren wordt er op grotere moderne terminals meer geautomatiseerd. In het vervolg van de studie zal hier vanuit worden gegaan.

Tabel 3.1: overzicht materieel

	Kleine terminal < 50.000 TEU	Middelgrote terminal 50.000 tot 1.000.000 TEU	Grote terminal >1.000.000 TEU
Terminaltracker + trailer 	Geschikt voor kleine terminal vanwege lage kosten.	Minder geschikt voor terminals met een grotere doorvoer vanwege de kleine capaciteit.	Niet geschikt voor terminals met een grote doorvoer.
Multi Trailer System 	Niet geschikt voor kleine terminal vanwege grote lengte.	Zeer geschikt voor terminals met een grotere doorvoer vanwege de grote capaciteit	Geschikt voor terminals met een grote doorvoer vanwege de grote capaciteit.
Automated Guided Vehicle 	Niet geschikt voor kleine terminals, veel te duur.	Minder geschikt voor middelgrote terminals, vanwege de hoge investeringskosten.	Zeer geschikt voor grote zeeterminals, bij grote aantallen kan zeer grote capaciteit behaald worden.
Straddle Carrier 	Niet geschikt voor kleine terminals, te duur.	Zeer geschikt voor terminals met een jaarlijkse doorvoer van 150.000 TEU of meer ze zijn erg flexibel.	Geschikt voor grote terminals, echter ze zijn nog niet automatisch operationeel.
Reachstacker 	Zeer geschikt voor kleine terminals en om containers van vrachtauto of trein te pakken.	Minder geschikt voor terminals met een grotere doorvoer vanwege de lage opslagdichtheid	Niet geschikt voor grote terminals in de opslag.
Forklift truck 	Zeer geschikt voor kleine terminals.	Niet geschikt voor opslag bij grotere terminals. Wel geschikt voor opslag van lege containers.	Niet geschikt voor opslag bij grotere terminals. Wel geschikt voor opslag van lege containers.
Rubber Tired Gantry 	Minder geschikt voor kleine terminal, relatief duur ten opzichte van reachstacker of FLT	Geschikt voor opslag bij grotere terminals. Zeer flexibel inzetbaar	Minder geschikt voor grote terminals, vanwege de lage rijsnelheid.
Rail Mounted Gantry/ASC 	Niet geschikt voor kleine terminals, te duur.	Geschikt voor terminals met grotere doorvoer, vanwege de grote opslagdichtheid en de grote capaciteit. Hoge investeringskosten	Zeer geschikt voor grote terminal. Grote opslagdichtheid en automatisering mogelijk.
Overhead Bridge Crane 	Niet geschikt voor kleine terminals, veel te duur.	Minder geschikt voor middelgrote terminals, vanwege de hoge investeringskosten	Zeer geschikt voor grote terminals, zeer grote opslagdichtheid bij hoog stapelen. Geen dynamische belastingen op grond.

4 Ondergronds bouwen

4.1 Inleiding

In betrekkelijk korte tijd is ondergronds bouwen in Nederland sterk in de belangstelling komen te staan. Het jaar 1990 kan als keerpunt worden gezien in het denken over ondergronds bouwen in Nederland. De periode voor 1990 werd vooral gekenmerkt door tunnels en enkele ondergrondse parkeergarages. Na 1990 neemt de aandacht voor ondergronds bouwen toe. Om de verschillende activiteiten op het gebied van ondergronds bouwen te coördineren en te stimuleren werd in maart 1995 het Centrum Ondergronds Bouwen (COB) opgericht. In het Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR) dat al langer als organisatie bestond, is het uitvoerende werk van het COB ondergebracht. Voor onderzoek naar aspecten van ondergronds bouwen zijn bij het COB en CUR een groot aantal onderzoeksprogramma's opgestart of liggen nog in de planning.

In dit hoofdstuk zullen aspecten van ondergronds bouwen in het algemeen en de noodzaak van ondergronds bouwen voor de Rotterdamse haven in het bijzonder aan de orde komen. Als eerste vindt er in paragraaf 4.2 een inventarisatie plaats over het ondergronds bouwen in het algemeen. Vervolgens worden er in paragraaf 4.3 enkele specifieke aspecten van het ondergronds bouwen behandeld. Tot slot worden er in paragraaf 4.4 enkele praktijkvoorbeelden gegeven van ondergrondse projecten.

4.2 Ondergronds bouwen in het algemeen

In Nederland, en vooral in de Randstad, is bouwgrond een schaars goed. Van verschillende kanten wordt een claim gelegd op de beschikbare ruimte⁽¹⁶⁾. Zoals in de inleiding al gezegd is betreft het ondergronds bouwen in Nederland vóór 1990 vooral het bouwen van tunnels en ondergrondse parkeergarages. Na 1990 en zeker na 1995 verschijnen er veel publicaties en verbreedt de aandacht zich naar andere projecten, zoals archieven, musea, bibliotheken, detailhandel en opslag, en naar andere aspecten dan techniek.

Initiatieven ten aanzien van ondergronds bouwen komen vooral voort uit ruimtenood op een specifieke locatie in combinatie met de geringe aanwezigheid van alternatieven. Deze situatie doet zich voornamelijk alleen voor in grote steden.

Het COB doet onderzoek naar het bouwen ondergronds en de aspecten daarvan. Er wordt met name onderzoek gedaan naar het wonen en werken ondergronds. Daarnaast lopen er ook studies naar ondergrondse industriële bedrijvigheid.

Voor Nederland is de ontwikkeling van ondergronds bouwen in zachte grond van bijzonder belang. In de Verenigde Staten, Japan, Frankrijk en Duitsland is men hiermee verder gevorderd dan in Nederland⁽¹⁷⁾. Dat men in het buitenland verder gevorderd is met ondergronds bouwen is ook te zien aan het aantal ondergrondse projecten dat al in deze landen te vinden is. De vele toepassingen in bijvoorbeeld de Verenigde Staten en Canada, hebben ook grotendeels te maken met strenge winters. Deze noodzaak om ondergronds te bouwen vanwege strenge winters ontbreekt in Nederland. Bovendien zijn er een aantal Nederlandse projecten waarbij ondergronds bouwen in een negatief daglicht is komen te staan. Bijvoorbeeld de nieuwe tramtunnel in Den Haag die bekend staat om de lekkages, vertragingen en budgetoverschrijdingen, maar ook in een ondergrondse winkel bij het Museumplein in Amsterdam zijn al enkele lekkages opgetreden⁽¹⁶⁾.

4.3 Aspecten van het ondergronds bouwen

De aspecten van ondergronds bouwen zijn grotendeels gericht geweest op de technische uitvoering. De vraag of het technisch mogelijk is, is al lang met "ja" beantwoord. Momenteel zijn de constructiekosten voor ondergronds bouwen nog twee tot vijfmaal zo hoog als voor bovengrond bouwen⁽¹⁷⁾. Naast de technische aspecten zijn andere aspecten zoals veiligheid, ruimtewinst, milieu, grondwaterhuishouding en arbeidsomstandigheden een steeds grotere rol gaan spelen bij het ondergronds bouwen. Een aantal van deze aspecten zal hieronder in zijn algemeenheid kort worden toegelicht. Daarnaast zal kort worden ingegaan op het ondergronds opslag- en distributiecentrum.

Veiligheid

De veiligheid bij ondergronds bouwen speelt een grote rol. Bij elk bouwwerk waar zich mensen in moeten bevinden of verplaatsen speelt de veiligheid een belangrijke rol. Bij ondergrondse gebouwen of projecten moet er speciale voorzieningen worden getroffen voor de brandveiligheid en in Nederland ook ten aanzien van lekkages, door de hoge grondwaterstand.

Een ander aspect dat met veiligheid te maken heeft is het psychologische effect bij mensen. Mensen willen onder de grond een veilig gevoel hebben. Om dit veilige gevoel te waarborgen moet er vaak een overmaat aan ruimte worden gecreëerd.

Ruimtewinst

Door ondergronds te bouwen kan de ruimte bovengronds en ondergronds voor verschillende activiteiten worden gebruikt, waardoor er een intensiever ruimtegebruik is. Een voorbeeld hiervan is een kantorencomplex met daaronder een ondergrondse parkeergarage. Voor een containerterminal met een ondergrondse opslag kan dit bijvoorbeeld leiden tot een overslag van meer containers per hectare, waardoor er bijvoorbeeld minder oppervlakte nodig is voor de containerterminal. In gebieden waar de grond per vierkante meter duur is, kan dit aanzienlijke besparingen opleveren. Ruimtewinst is een van de belangrijkste redenen om ondergronds te bouwen.

Milieu

Bedrijven met veel milieuruimte (geluid, geur, veiligheid) zijn een kansrijke categorie voor het toepassen van ondergronds bouwen. Bedrijven die veel geluid produceren kunnen ondergronds gaan, waar het geluid goed wordt gedempt. Ook de opslag van olie en gas of bulkgoederen als erts en kolen kan goed ondergronds. De kans op lekkages van olie of verstuivingen van bulk wordt kleiner doordat invloeden van buitenaf, zoals het weer, worden geëlimineerd. Tot slot valt er in sommige gevallen ook nog een energiebesparing te behalen door het ondergronds opslaan van producten die gekoeld of bevroren moeten worden. De generatoren van koelcontainers maken geluid. Op de Maasvlakte zal minder geluidsoverlast optreden, maar op terminals die meer in de stad gelegen zijn kan er wel een overlast optreden.

Arbeidsomstandigheden

De arbeidsomstandigheden voor werknemers zijn geregeld in de Arbeidsomstandighedenwet. Er is niet één besluit speciaal voor ondergrondse ruimtes. Vaak zijn er algemene regels opgesteld, die vervolgens worden toegepast op ondergrondse ruimtes. Zo zijn er bijvoorbeeld regels opgesteld omtrent daglicht. Bepaald is dat in een besloten ruimte waar iemand meer dan twee uur arbeid verricht, doorzichtige lichtopeningen zijn aangebracht in de uitwendige scheidingsconstructie. Het gezamenlijke oppervlak van de lichtopeningen bedraagt ten minste 1/20 van het vloeroppervlak van de ruimte. Bij een 8-urige werkdag moet minimaal 6 uur arbeid worden verricht in werkruimten of op werkplekken die voldoen aan dit criterium. Een alternatief van kunstlicht voldoet niet aan het ARBO-besluit. Dit legt beperkingen op aan het wonen en werken ondergronds. Voor industriële activiteiten kan het werken tot een minimum worden beperkt door eventueel te automatiseren. Bij de opslag van olie, gas of bulkgoederen hoeft er niemand ondergronds te werken. In een ondergrondse opslag voor koelcontainers kan het proces ook grotendeels worden geautomatiseerd. De koelcontainers moeten echter wel handmatig worden aangesloten op het elektriciteitsnet. In het ondergrondse distributiecentrum vindt meer bedrijvigheid plaats. Hier zullen extra maatregelen getroffen moeten worden om de arbeidsomstandigheden acceptabel te maken. Dit zal over het algemeen extra kosten met zich meebrengen.

4.4 Voor- en nadelen van ondergronds bouwen

In het voorgaande kwamen al wat voor- en nadelen van ondergronds bouwen naar voren. Hieronder zullen ze nog eens op een rijtje worden gezet. De belangrijkste voordelen zijn:

- De ruimte wordt intensiever en efficiënter gebruikt. Vooral op plaatsen waar ruimtetekort is, bijvoorbeeld in steden of in de Rotterdamse haven, is ondergronds bouwen een goede optie. Het intensiever gebruik kan bovendien ook leiden tot een verhoging van de toegevoegde waarde.
- De invloed van wind, regen en kou is te verwaarlozen onder de grond.
- De onderhoudskosten zijn over het algemeen minder.
- De isolatie onder het maaiveld is automatisch geregeld, hetgeen een energievoordeel kan opleveren bij klimaatloosden. Door ondergronds te gaan kan een besparing optreden.
- Er is een geringere geluidsbelasting voor de omgeving.
- Er kan een milieuwinst optreden. Bij opslag van gas of olie is de kans op lekkages kleiner, alhoewel er wel monitoring moet plaatsvinden.
- Een toename van de veiligheid in de omgeving van het bedrijfsterrein.

Naast deze voordelen van ondergronds bouwen zijn er ook een aantal nadelen:

- Ondergronds bouwen is over het algemeen 2 tot 5 keer duurder dan bovengronds bouwen. Er is dus een grotere investering nodig
- Er is een zwaardere belasting van de infrastructuur in de omgeving door de toegenomen bedrijvigheid.
- De arbeidsomstandigheden en de gevoelsmatige aspecten van mensen die ondergronds moeten werken of wonen. Vaak moet er een overmaat aan ruimte worden gecreëerd om ondergronds werken mogelijk te maken.
- De veiligheid in ondergrondse bouwwerken als het gaat om calamiteiten zoals brand of instorting is vaak minder.

Om tot een besluit te komen om ondergronds te gaan bouwen worden over het algemeen de voordelen en de nadelen tegen elkaar afgewogen. De voor- en nadelen spelen soms op een onderling verschillende schaalniveaus. Een bouwer ervaart in een concreet project vooral de nadelen (hogere kosten, technische onzekerheden), terwijl de voordelen, meervoudig ruimtegebruik, vooral op een hoger schaalniveau manifest wordt⁽¹⁷⁾. Daarom is er een vraag naar modellen die alle aspecten integraal tegen elkaar kunnen afwegen, zodat ook aspecten zoals veiligheid, ruimtewinst, milieuwinst en sociale aspecten kunnen worden beoordeeld op een evenwichtige manier ten opzicht van constructiekosten alleen.

4.5 Ondergronds bouwen in de Rotterdamse Haven

De ruimte in de Rotterdamse haven is schaars aan het worden. Bij het onderzoek naar de noodzaak van de tweede Maasvlakte, is er geïnterviewd hoeveel hectare er nog beschikbaar is in de Rotterdamse haven en op welke manier er eventueel hectares terug kunnen worden gewonnen. Mogelijkheden hiervoor zijn onder andere het dempen van havenbekkens, het beter benutten van bestaande ruimtes en het ondergronds brengen van bepaalde havenactiviteiten zodat er meerdere activiteiten tegelijk kunnen plaatsvinden. Zo zijn er studies gedaan naar het ondergronds opslaan van ruwe olie (Ondergrondse Olie Opslag) en bulk (Onderwater Stortgoed Terminal). Daarnaast is er ook nog een haalbaarheidsstudie geweest naar de mogelijkheden van ondergronds bouwen in de Merwehaven. Het betreft hier een ondergrondse opslag voor fruit. Hierbij wordt er dus gebruik gemaakt van de gunstige klimatologische omstandigheden ondergronds. Dit project zal worden uitgevoerd gaan uitgevoerd.

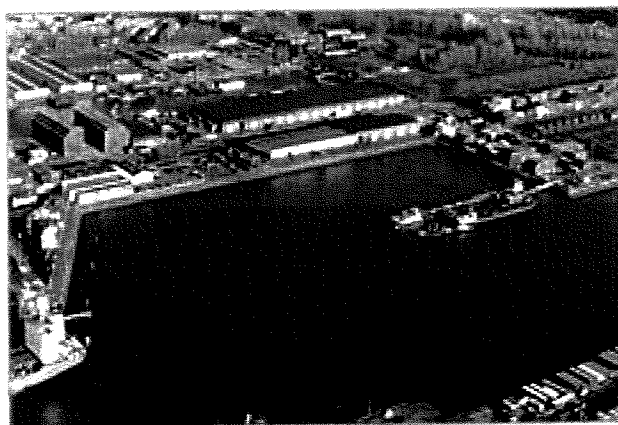
Tot slot is er een ondergronds project dat al in aanbouw is. Het havenbedrijf Van Bennekum Hoekstra (VBH) is in de Prins Johan Frisohaven een ondergrondse opslagloods aan het bouwen (zie figuur 4.3). Dit is het eerste experiment in de Rotterdamse haven met ondergrondse opslag en dus met dubbel ruimtegebruik. Het bedrijf laat de zogeheten zwaairom in de Prins Johan Frisohaven dempen (zie figuur 4.1 en figuur 4.2). Er wordt een klimaatloods met een oppervlakte van 10.000 vierkante meters gebouwd voor de opslag van noten en zuidvruchten. Boven op het maaiveld komt een opslagterrein voor lege containers, een kantoor en nog een loods voor opslag en distributie. Ondergronds bouwen is in dit geval iets duurder dan in de hoogte bouwen maar ondergrondse opslag levert een aanmerkelijk voordeel op in energiekosten en in onderhoud. Bovendien wordt er geprofiteerd van subsidies door het innovatieve karakter van het project. Naar verwachting zal de nieuwe locatie rond juli 2001 in gebruik worden genomen⁽¹⁸⁾.

4.6 Conclusie

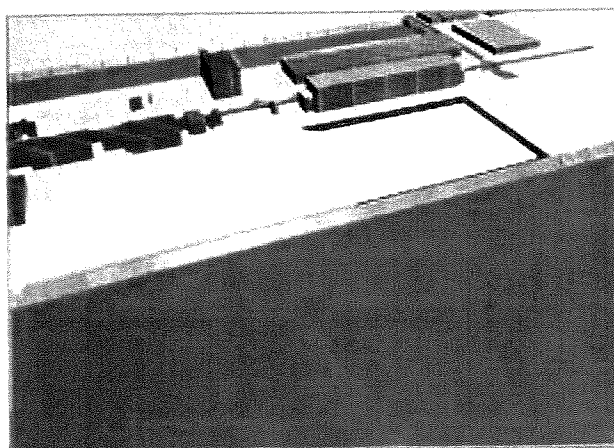
De laatste jaren is er een sterke toename in het ondergronds bouwen te constateren, met tevens een verbreding in aspecten. Grote delen van industriële functies komen in aanmerking voor realisatie ondergronds zoals transport, distributie, opslag en productie. Wonen en werken zijn vooralsnog minder geschikt voor ondergronds bouwen vanwege de arbeidsomstandigheden en de ARBO-wetgeving.

Het afwegen van de voordelen en nadelen van ondergronds bouwen is een complexe zaak die vaak op meerdere schaalniveaus speelt. Kosten moeten vergeleken worden met begrippen als meervoudig ruimtegebruik en milieuwinst.

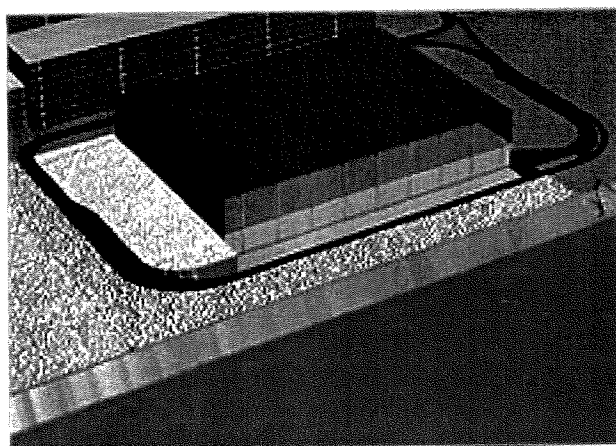
Voor de Rotterdamse haven zijn al enkele onderzoeken gedaan naar het ondergronds opslaan van producten en goederen. Dit heeft geresulteerd in één project dat al in uitvoering is en één project dat op de planning staat om uitgevoerd te worden. Voor koelcontainers is dit nieuw en de ondergrondse opslag voor koelcontainers zal aan de genoemde aspecten van ondergronds bouwen worden getoetst.



Figuur 4.1: zwaaiom Prins Johan Friso haven



Figuur 4.2: zwaaiom na demping



Figuur 4.3: einddoel

5 Afbakening onderzoek

5.1 Inleiding

Tot nu toe is er een aantal onderzoeken gedaan. De markt van koel- en vrieslading en de ontwikkelingen van koelcontainers hierin is onderzocht. Er is een inventarisatie gemaakt van transporttechnieken en materieel en de stand van het zaken betreffende het ondergronds bouwen is aan de orde geweest. Deze onderzoeken zijn algemeen van aard en om uiteindelijk tot een ontwerp van een ondergronds opslag- en distributiecentrum te komen zal het onderwerp moeten worden afgebakend.

In dit hoofdstuk zullen er een aantal aannames worden gedaan en randvoorwaarden worden gegenereerd om het onderwerp verder af te bakenen. Daarnaast zullen er enkele berekeningen worden uitgevoerd om oppervlaktes te bepalen en enkele kleine onderzoeken worden gedaan om te kijken wat de invloed is van bepaalde factoren. De berekeningen en grafieken staan vooral in de bijlagen. In dit hoofdstuk wordt voornamelijk volstaan met de resultaten. Met behulp van deze aannames kunnen concepten en varianten worden ontwikkeld voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum.

Eerst wordt er in paragraaf 5.2 globaal een containerterminal ontworpen. Er zullen er enkele aannames worden gedaan, waarna er globaal een oppervlakte kan worden berekend voor de containerterminal. In paragraaf 5.3 wordt hetzelfde gedaan voor het distributiecentrum. Vervolgens wordt in paragraaf 5.4 een kleine energieberekening gemaakt voor de ondergrondse opslag om het energievoordeel te bepalen dat behaald kan worden. Ook hierbij worden enkele aannames gemaakt.

5.2 Containerterminal

Om het gebied waarbinnen gewerkt gaat worden enigszins af te bakenen worden hieronder enkele aannames gedaan. Omdat er uiteindelijk een constructief ontwerp van een ondergronds opslag- en distributiecentrum moet komen, is het noodzakelijk om aannames te maken betreffende de grootte van de terminal, doorvoer van de terminal en doorvoer van het distributiecentrum, om tot afmetingen te komen. Hieronder volgen eerst enkele aannames. Met deze aannames wordt een containerterminal gegenereerd en enkele onderzoeken gedaan naar het effect van een aantal factoren, zoals verblijftijd en stapelhoogte.

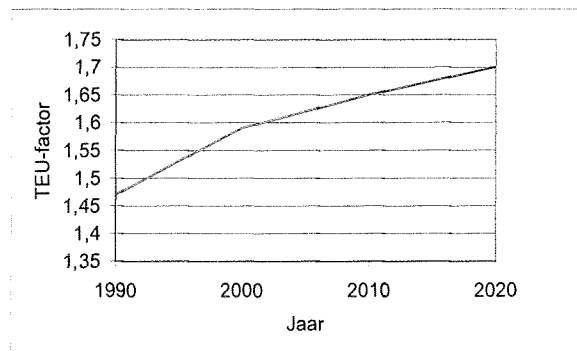
5.2.1 Algemene aannames

Terminalgrootte

Om de grootte van de terminal te bepalen en de benodigde grootte van de ondergrondse opslag zal er worden uitgegaan van een terminal met een bepaalde doorvoer, bijvoorbeeld vergelijkbaar met een terminal van de ECT op de Maasvlakte. Voor deze terminal wordt uitgegaan van een doorvoer van 1,5 miljoen TEU per jaar. De verschillende terminals op de Delta terminal zijn van dezelfde orde van grootte. Het aantal van 1,5 miljoen TEU/jaar moet worden gezien als een soort case, waarbij bepaalde terminalafmetingen horen die verderop in dit hoofdstuk zullen worden bepaald. Verder wordt er van uitgegaan dat de terminal 24 uur per dag en 365 dagen per jaar operationeel is.

TEU-factor

De TEU-factor is de verhouding tussen het aantal TEU en het aantal containers. Een 40 ft. container is 2 TEU. In hoofdstuk 2 bleek al dat de TEU-factor de laatste jaren is toegenomen, hetgeen betekent dat er naar verhouding meer 40 voet containers bijkomen dan 20 voet containers. Ook in de toekomst wordt er verwacht dat de TEU-factor zal toenemen, zie ook figuur 5.1. Bij de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat de TEU-factor naar 1,7 gaat voor gewone containers. Voor koelcontainers wordt uitgegaan van een TEU-factor van 2. Dit betekent dat er alleen 40 voet containers zullen worden overgeslagen.

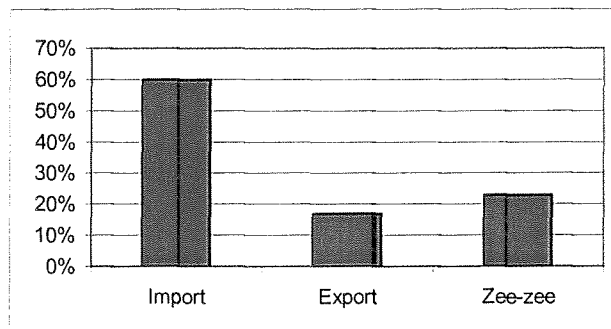


Figuur 5.1: ontwikkeling TEU-factor

Toekomstverwachting koelcontainers

In hoofdstuk 2 is al aangegeven dat het percentage koelcontainers dat wordt overgeslagen bij de ECT iets boven de 9% ligt. Ook was te zien dat er steeds meer koel- en vrieslading in koelcontainers wordt vervoerd. Het percentage koelcontainers dat bij de ECT wordt overgeslagen is hoog, vergeleken met andere terminals. Voor de toekomst wordt in eerste instantie uitgegaan van een percentage van 11%. Daarnaast zal worden gekeken naar de resultaten van een percentage van 15%.

Het grootste gedeelte van de koelcontainers zijn importcontainers, dus containers die van zee komen en naar het achterland gaan. Uit goederenstromenmodel 7⁽⁹⁾ volgt dat ongeveer 60 procent van de gecontaineriseerde koel- en vrieslading import is, ongeveer 17 procent export en ongeveer 23 procent zee-zee overslag is, zie ook figuur 5.2 Ook volgt uit deze cijfers (bijlage III) dat deze verhoudingen naar verwachting niet veel zullen veranderen in de komende 20 jaar.



Figuur 5.2: containeroverslag in Rotterdam

Materieel en transporttechniek

In de conclusie van hoofdstuk 3 kwam al naar voren welk materieel geschikt is om op een dergelijke terminal te gebruiken. Er wordt aangenomen dat de nieuwe bovengrondse terminal een moderne terminal wordt met een automatische opslag. Voor deze opslag komt dan een Automated Stacking Crane in aanmerking of een Overhead Bridge Crane. Voor het interne vervoer van de kade naar de opslag kan gebruik worden gemaakt van een AGV, een lage straddle carrier of een ALV.

Voor de ondergrondse terminal komen voor de opslag de volgende type werktuigen in aanmerking: een bovenloopkraan, een lage straddle carrier of een ALV, of een forklifttruck. Een belangrijke voorwaarde voor het materieel ondergronds is dat dit materieel elektrisch moet zijn. Omdat het koel- en vrieslading betreft is het niet gewenst om uitlaatgassen in de ondergrondse ruimte te creëren. Ook voor het distributiecentrum geldt dat er met elektrische forklift trucks moet worden gewerkt. Dit wordt ook in bestaande bovengrondse distributiecentra gedaan, waar koel- en vrieslading wordt opgeslagen.

Stapelhoogte containers

De stapelhoogte heeft invloed op de benodigde oppervlakte van de opslag. Hoger stapelen van containers betekent een kleiner benodigd oppervlak, maar hoger stapelen betekent dat de logistiek een stuk ingewikkelder wordt. Er zal meer moeten worden omgestapeld. Bij export stacks of zee-zee stacks kan in principe hoger gestapeld worden, omdat de containers met dezelfde bestemming vaak al bij elkaar in de stack worden geplaatst. Dit is bijvoorbeeld goed te zien in stacks op terminals in Singapore en Hong kong, waar veel export en zee-zee overslag is. De containers worden daar wel 9 hoog gestapeld. Hier in Rotterdam betreft het een terminal met relatief veel import containers. Daarom wordt voor de terminal uitgegaan van een stapelhoogte van maximaal vier containers.

Op sommige terminals worden de koelcontainers drie hoog gestapeld, maar in de meeste gevallen worden ze vaak maar maximaal twee hoog gestapeld. De reden hiervoor is dat de koelcontainers met de hand moeten worden aangesloten op het elektriciteitsnet.

De koelcontainers kunnen ondergronds ook één, twee of drie hoog worden gestapeld, afhankelijk van het te gebruiken materieel. Hoger stapelen ondergronds betekent ook dat de opslag ondergronds dieper wordt. Dit brengt hogere bouwkosten met zich mee, omdat de krachten op de constructie groter worden. Het benodigde oppervak wordt echter wel kleiner door hoger te stapelen. Er zal met een berekening moeten worden nagegaan welke van de mogelijkheden het minste kost. Dit zal in een later stadium worden bekeken. Voorlopig wordt uitgegaan van twee hoog stapelen ondergronds en twee hoog stapelen bovengronds.

Stackbreedte

De breedte van een enkele stack is afhankelijk van de hoeveelheid containers die naast elkaar worden gezet in één enkele stack. Bij de huidige stacks op de Maasvlakte worden er 6 containers naast elkaar gezet onder één kraan. Bij de toekomstige MSC-terminal in Antwerpen worden er al 9 containers naast elkaar gezet. Voor de bovengrondse terminal wordt voorlopig uitgegaan van een stack van 9 containers breed. Hierdoor zullen de stacks ongeveer 30 meter breed worden.

Voor de ondergrondse terminal kan de breedte van de stack in dit stadium nog niet worden bepaald. Deze breedte hangt onder ander van constructieve eisen, zoals de optimale overspanning en de ruimte die de containers nodig hebben. Deze breedte zal in een later stadium worden bepaald. Indien de kolomafstand in de ondergrondse opslag daartoe aanleiding geeft kan de bovengrondse stackbreedte nog worden aangepast.

Welke koelcontainers onder de grond

Niet elke koelcontainer hoeft ondergronds te worden opgeslagen. In bijlage III en in figuur 5.1 is te zien dat het percentage import, export een zee-zee overslag respectievelijk 60%, 17% en 23% is. Voorlopig wordt aangenomen dat alleen de import koelcontainers ondergronds gaan. Afhankelijk van het energievoordeel dat behaald kan worden, kan deze aanname worden bijgesteld. Omdat er vanuit wordt gegaan dat er alleen import containers ondergronds worden gebracht, betekent dit ook dat alle lading die naar het distributiecentrum gaat, import lading is, dus lading afkomstig van de zee kant van de terminal.

5.2.2 Berekening terminal oppervlakte

De oppervlakte van een containerterminal is onder andere afhankelijk van de kadelengte, de grootte van de opslag en de ruimte achter de kade voor het interne vervoer. Deze afmetingen zullen hieronder worden bepaald. Daarbij zullen er weer enkele aannames gedaan worden.

Kadelengte

De kadelengte hangt af van het aantal schepen dat jaarlijks de terminal aandoet en de laad- en lostijd van deze schepen. De laad- en lostijd is weer afhankelijk van het aantal TEU dat wordt overgeslagen, de snelheid van de kadekranen en het aantal kranen dat wordt ingezet per schip. In een studie van de ECT van het vorige jaar blijkt dat er in de toekomst gestreefd wordt naar 1200 TEU per jaar per strekkende meter kade⁽²⁰⁾. Dit houdt in dat bij een terminal met een doorvoer van 1,5 miljoen TEU er ongeveer 1200 meter kade nodig is.

Normaal gesproken wordt de kadelengte geoptimaliseerd op basis van de lokale scheepslengten verdeling. Omdat het hier gaat om een orde van grootte wordt het kental van de ECT aangehouden, namelijk 1200 TEU/m¹. Er wordt dan ook aangenomen dat de nieuwe terminal een kadelengte heeft van 1200 meter. Dit komt overeen met 3 ligplaatsen voor de laatste generatie containerschepen.

Ruimte achter de kade

De ruimte direct achter de kade is nodig voor de kadekranen en voor het interne vervoer naar de opslag. Direct achter de kade is er ongeveer 5 meter ruimte tot de voorste kraanbaan. Deze ruimte is nodig zodat de schepen de kraan niet kunnen beschadigen. De afstand tussen de voorste en de achterste kraanbaan bedraagt bij de grote post-panamax kranen ongeveer 35-45 meter. Achter de achterste kraanbaan is vaak nog ongeveer 20 meter ruimte gereserveerd voor hatchcovers. Hatchcovers zijn de laadruim luiken van het schip en liggen onder de backreach van de kraan. Achter deze ruimte is ruimte voor de voertuigen die het interne vervoer verzorgen tussen de kadekranen en de opslag. Deze ruimte wordt aangenomen op 50 meter. De totale ruimte achter de kade tot de opslag komt hierbij op ongeveer 120 meter.

Oppervlakte opslag

De oppervlakte van de opslag van een containerterminal is onder andere afhankelijk van de doorvoer, de verblijftijd van containers, de stapelhoogte van de containers en het materieel. De oppervlakte voor de opslag kan als volgt worden berekend⁽²¹⁾:

$$O = \frac{Q \cdot t_v \cdot F}{r \cdot t_{wd} \cdot m}$$

met:

- O : oppervlakte stack, inclusief materieel [m²]
- Q : jaarlijkse doorvoer [TEU]
- t_v : gemiddelde verblijftijd [dagen]
- t_{wd} : aantal werkdagen per jaar [dagen]
- F : oppervlakte per TEU, inclusief materieel [m²]
- m : acceptabele gemiddelde bezettingsgraad van de stack (0,65 – 0,7)
- r : gemiddelde stapelhoogte/nominale stapelhoogte (0,6 – 0,9)

De oppervlakte zal worden bepaald voor twee verschillende groepen, namelijk de normale containers en de koelcontainers.

De oppervlakte voor de normale containers wordt als volgt bepaald:

$$O = \frac{0,89 \cdot 1.500.000 \cdot 5 \cdot 8}{0,75 \cdot 365 \cdot 0,7} = 28 \text{ ha.}$$

De empirische factor F is op 8 aangenomen⁽²¹⁾. In deze empirische factor is de stapelhoogte verwerkt. Voor de bezettingsgraad is 0,7 aangenomen. De verhouding gemiddelde stapelhoogte/nominale stapelhoogte wordt aangenomen op gemiddeld 0,75. Vaak is deze verhouding wat hoger in export stacks en wat lager in import stacks.

De totaal benodigde oppervlakte voor koelcontainers bij 2 hoog stapelen wordt bepaald op:

$$O = \frac{0,11 \cdot 1.500.000 \cdot 3 \cdot 22}{0,9 \cdot 365 \cdot 0,7} = 4,7 \text{ ha.}$$

De empirische factor F is hier op 22 aangenomen, waarbij er vanuit is gegaan dat de koelcontainers 2 hoog worden gestapeld. Koelcontainers worden minder hoog gestapeld dan de andere containers en hebben meer ruimte nodig dan gewone containers vanwege de aansluiting op het elektriciteitsnet. De verhouding gemiddelde stapelhoogte/nominale stapelhoogte wordt aangenomen op 0,9.

Er vanuit gaande dat 60% van de koelcontainer ondergronds wordt opgeslagen, wat neer komt op 3 hectare, wordt voor de bovengrondse opslag voorlopig van 30 hectare uitgegaan, indien de koelcontainers 2 hoog worden gestapeld en de verblijftijd van de alle koelcontainers 3 dagen is. Dit houdt in dat bij een lengte van 1000 meter de opslag een breedte heeft van 300 meter.

In bijlage IV is de berekening weergegeven. Hier is ook gekeken naar de invloed van verandering van factoren, zoals een hoger percentage koelcontainer, een kortere of langere verblijftijd en de stapelhoogte.

Een hoger percentage koelcontainers maakt op de totale benodigde oppervlakte niet significant uit. De verblijftijd van koelcontainers heeft een grotere invloed op de benodigde oppervlakte. Nu wordt uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van 3 dagen. Als nu bij de koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan, wordt uitgegaan van een verblijftijd van 1 dag, kan de benodigde oppervlakte ondergronds aanzienlijk worden gereduceerd.

Er wordt voor gekozen de koelcontainers bovengronds 3 hoog te stapelen en voor de ondergrondse stapelhoogte wordt voorlopig nog steeds uitgegaan van 2 hoog. De ondergrondse stapelhoogte wordt verder geanalyseerd bij het functioneel ontwerp in hoofdstuk 8. Voor de verblijftijd van koelcontainers die niet naar het distributiecentrum gaan wordt uitgegaan van 3 dagen en voor de koelcontainers die wel naar het distributiecentrum gaan 1 dag. De benodigde oppervlaktes bij een verschillend percentage koelcontainers staan in onderstaande tabel. Geconcludeerd kan worden dat met deze aannames het percentage koelcontainers niet van invloed is op de totaal benodigde oppervlakte voor de opslag op de containerterminal. De bovengrondse opslag heeft nu een totale oppervlakte van 29 hectare, 1 hectare minder dan de eerder aangenomen 30.

Tabel 5.1: invloed percentage, verblijftijd en stapelhoogte koelcontainers

Percentage koelcontainers	11%	12%	13%	14%	15%	
Doorvoer gewone containers	1.335.000	1.320.000	1.305.000	1.290.000	1.275.000	TEU
Doorvoer koelcontainers	165.000	180.000	195.000	210.000	225.000	TEU
Oppervlakte gewone containers	27,87	27,55	27,24	26,93	26,61	ha.
Oppervlakte koelcontainers bovengronds	1,21	1,32	1,42	1,53	1,64	ha.
Totale opp. Koelcontainers ondergronds	2,34	2,55	2,76	2,97	3,18	ha.
Totaal benodigde opp. bovengronds	29,08	28,87	28,66	28,46	28,25	ha.
Totaal benodigde oppervlakte	31,42	31,42	31,42	31,43	31,43	ha.

Terminalindeling

Naast de bovengenoemde oppervlaktes moet er nog ruimte worden gereserveerd voor kantoren, reparatie- en onderhoudsruimtes, wegen, parkeerplaatsen en eventueel douane. In tekening 1 van bijlage X staat de terminal lay-out weergegeven. De totale oppervlakte van de bovengrondse terminal zonder ondergrondse opslag wordt op basis van de in deze paragraaf genoemde afmetingen aangenomen op 62 hectare. De ondergrondse terminal levert een besparing op van totaal 2,8 hectare op de bovengrondse

5.3 Distributiecentrum

5.3.1 Algemene aannames

Pallets

Er wordt vanuit gegaan dat het grootste gedeelte van de koel- en vrieslading dat naar het distributiecentrum gaat gepalletiseerd is in de koelcontainers. Pallets kunnen een oppervlakte hebben van 1,0 x 1,2 m² (blokpallets of magazijnpallets) of 0,8 x 1,0 m² (europallets)⁽²³⁾. De hoogte van de pallets varieert tussen 1,0 en 2,1 meter, afhankelijk van de lading die er op staat. Gemiddeld zijn de pallets 1,75 meter hoog. Afhankelijk van de hoogte en het soort lading kunnen de pallets 2 hoog worden gestapeld in een koelcontainer. In een 40 voet high cube container gaan gemiddeld 22/23 blokpallets of 32 europallets^(d).

Verblijftijd koel- en vrieslading in distributiecentrum

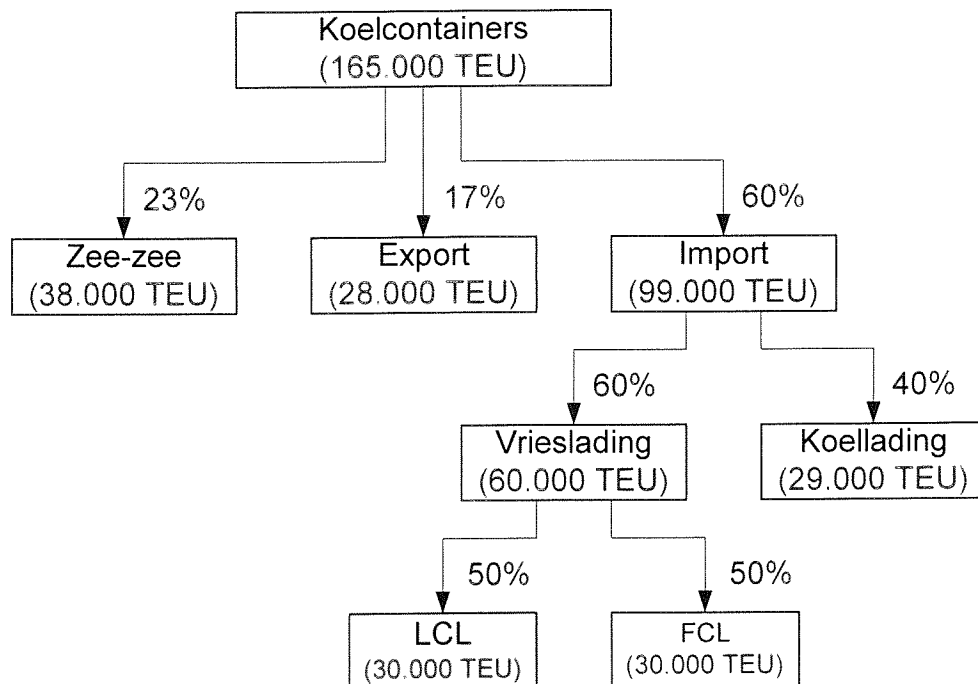
Net als de verblijftijd voor containers op een terminal, heeft de verblijftijd van koel- en vrieslading invloed op de benodigde opslagruimte. Een langere verblijftijd van de koel- en vrieslading betekent dat er ook een grotere opslagruimte nodig is om de koel- en vrieslading op te slaan. Er moet nu duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen koellading en vrieslading. Koellading heeft over het algemeen een kortere verblijftijd in de koelloods en dan de vrieslading in de vriesloodsen. Hoewel er nieuwe systemen zijn om bederfelijke koellading, zoals groente en fruit, langer goed te houden, wordt uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van ongeveer 1 week voor koellading^{(d)(f)}.

Vrieslading kan in principe veel langer worden opgeslagen, omdat deze lading in deze toestand niet of nauwelijks aan bederf onderhevig is. In de haven van Rotterdam is een aantal vrieshuizen waar de verblijftijd varieert van een week tot zelfs een jaar^(b). De vrieshuizen hebben dan niet alleen een distributiefunctie maar ook een opslagfunctie. Vrieslading heeft over het algemeen een gemiddelde verblijftijd van 1 maand (ofwel 4 à 5 weken^(b)).

In dit onderzoek wordt vooral van de distributiefunctie uitgegaan. Hierdoor kan worden aangenomen dat de gemiddelde verblijftijd korter wordt. Er wordt in het vervolg van de studie uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd voor vrieslading van 2 weken (ofwel 14 dagen).

Welke lading naar distributiecentrum

Welke lading in het distributiecentrum wordt opgeslagen is mede afhankelijk van de lading die aankomt op de terminal. Niet alle importlading zal naar het distributiecentrum gaan. Er kan gekozen worden voor alleen vrieslading of alleen koellading, maar beide typen lading kan ook omdat er verschillende cellen zijn in het distributiecentrum. Bij ondergrondse vriesloodsen zullen over het algemeen grotere energiewinsten behaald worden dan bij ondergrondse koelloodsen omdat het temperatuurverschil met de buitenlucht groter is. Er wordt in deze studie aangenomen dat er voorlopig alleen vrieslading wordt opgeslagen in het distributiecentrum. Het aantal containers dat naar het distributiecentrum gaat wordt aangenomen op 15.000 (30.000 TEU) per jaar. Dit aantal is gebaseerd op 60% importlading. Van deze 60% importlading is 60% vrieslading, waarvan 50% naar het distributiecentrum gaat. Dit zijn de koelcontainers met een lading voor verschillende afnemers, zogenaamde LCL (Less Container Load) containers. De andere 50% gaat rechtstreeks van de containerterminal naar de plaats van bestemming. Deze worden de FCL (Full Container Load) containers genoemd. De opsplitsing staat nog eens weergegeven in figuur 5.3.



Figuur 5.3: lading naar distributiecentrum

Soort stack + materieel in distributiecentrum

In een distributiecentrum zijn verschillende mogelijkheden om pallets op te slaan. Producten met een groot voorraadvolume kunnen op de grond worden gestapeld. De opslaghoogte is dan ongeveer 4 meter. Voorwaarde is dat de onderste pallet eenheid de stapeldruk kan weerstaan. Vaak is dit niet het geval omdat het hier koel- en vrieslading betreft en moet er worden gedacht aan stellingen waarin de pallets geplaatst kunnen worden.

De pallets kunnen met behulp van stapelwerktuigen, zoals een vorkhef truck, in deze stellingen worden gezet, maar er kan ook gedacht worden aan een automatisch en/of gemechaniseerd systeem, met transportbanden, rolbanen of rails met trekkabels. De investering voor automatische en/of mechanische systemen is echter relatief hoog en de flexibiliteit van de vriesloods wordt minder. Dergelijke systemen zijn alleen zinvol in gespecialiseerde koel- en vrieshuizen⁽²⁴⁾. Er wordt in deze studie daarom gekozen voor een systeem waarbij de pallets in stellingen worden geplaatst door elektrische heftrucks.

Er zijn verschillende soorten stellingen: de doorrijstelling, de inrijstelling en de palletstelling. Bij de eerste twee worden er meerdere pallets achter elkaar geplaatst. Speciale smalle heftrucks kunnen de stelling inrijden. Deze stellingen zijn vooral geschikt voor tijdelijke opslag en veel dezelfde lading. Bij palletstellingen is de diepte van de stelling slechts één pallet en de pallets worden er door een heftruck in de stellingen gezet. De flexibiliteit is groter doordat de stellingen maar één pallet diep zijn. De verhouding breedte van het gangpad en de breedte van de opslag is bij de palletstelling echter wel ongunstiger dan wanneer er meer pallets achter elkaar worden gezet.

Omdat de distributiefunctie in dit onderzoek voorop staat en er dus een grote flexibiliteit gewenst is, wordt gekozen voor palletstellingen in combinatie met elektrische heftrucks. Voor de tussenpaden wordt nu 2,5 à 3,0 meter aangehouden en voor de stellingdiepte 1,35 meter⁽²⁴⁾.

5.3.2 Oppervlakte distributiecentrum

In de vorige paragraaf is de oppervlakte van de opslag van koelcontainers bepaald aan de hand van een percentage koelcontainers en een bepaalde doorvoer van de terminal. Ook voor het distributiecentrum kan op deze manier een globale oppervlakte worden berekend. Afhankelijk van het logistieke systeem dat wordt toegepast en de hoogte van de opslag kan een oppervlakte voor het distributiecentrum worden berekend. Indien er volautomatisch met bijvoorbeeld rolbanden wordt gewerkt hoeven de tussenpaden minder breed te zijn dan wanneer er vorkhef trucks worden gebruikt. Er is echter gekozen voor palletstellingen met vorkhef trucks. In deze paragraaf gaat het om een orde grootte te krijgen. De oppervlakte zal bij het functioneel ontwerp van het distributiecentrum in hoofdstuk 8 verder in detail worden uitgewerkt.

Eerder is bepaald dat er per jaar 15.000 koelcontainers naar het distributiecentrum gaan. Dit komt overeen met 30.000 TEU. In een 40 ft container gaan, afhankelijk van het soort pallet en de hoogte van de pallet, gemiddeld 22 tot 32 pallets. Uitgaande van gemiddeld 25 pallets in één 40 ft container worden er 375.000 pallets op jaarbasis opgeslagen.

Bij een verblijftijd van gemiddeld 14 dagen, 300 werkdagen per jaar en een bezettingsgraad van 80% moet de opslag ongeveer een capaciteit hebben van 22000 pallets.

Indien de koelcontainers ondergronds 2 hoog worden gestapeld, kunnen de pallets in ieder geval 3 tot 4 hoog worden weggezet in rekken. Bij een stapelhoogte van 4 pallets en tussenruimten voor vorkhef trucks en stellages om de pallets in te zetten is er voor de opslag ongeveer 1,8 hectare nodig. Daarnaast is er ongeveer nog een 1,5 hectare nodig buiten de koel- en vriescellen voor het klaarzetten van pallets en kantooruimten. De totale oppervlakte, inclusief parkeerplaatsen en docking stations wordt voorlopig aangenomen op ongeveer 5 hectare. In bijlage IV is een oppervlakteberekening weergegeven bij verschillende stapelhoogtes voor de pallets

In tekening 2 van bijlage X staat de bovengrondse terminal weergegeven met de grootte van de ondergrondse opslag voor containers en het ondergrondse distributiecentrum. Bij deze tekening kan een goede indruk worden verkregen van de orde van grootte van de ondergrondse ruimte

5.4 Energieverbruik en energiebesparing

5.4.1 Algemene aannames

Temperatuur

Ondergronds heerst over het algemeen een constante temperatuur. Er wordt aangenomen dat de buitentemperatuur geen invloed heeft op de temperatuur in de ondergrondse opslag. De warmte die vrij komt bij de generatoren van de koelcontainers kan wel invloed hebben op de temperatuur ondergronds. Over het algemeen kan worden uitgegaan van een constante ondergrondse temperatuur van 10 graden Celsius. De gemiddelde buitentemperatuur in Nederland ligt in de zomermaanden hoger dan 10 graden Celsius en in de wintermaanden lager dan 10 graden Celsius. De gemiddelde temperatuur over de laatste 100 jaar is te zien in figuur VI.2 van bijlage VI. De gemiddelde jaartemperatuur schommelt tussen de 9 en 10 graden Celsius met halverwege de vorige eeuw een aantal uitschieters naar beneden en in de jaren 90 een aantal uitschieters naar boven. In figuur VI.1 van bijlage VI is te zien dat de gemiddelde temperatuur over een heel jaar normaal 9,4 graden Celsius is. In 2000 was de gemiddelde buitentemperatuur 10,9 graden Celsius.

Energieverbruik koelcontainers

De generatoren van de koelcontainers hebben een maximaal koelvermogen van ongeveer 10 kilowatt (kW). Daarnaast hebben ze ook een maximaal elektrisch vermogen van 10 kW. Deze 10 kW is het maximaal vermogen dat geleverd kan worden en is gedimensioneerd op een buitentemperatuur van 38 graden Celsius (100° F). In Nederland zijn de buitentemperaturen vaak veel lager en hoeft dit maximaal vermogen niet gebruikt te worden. Het energieverbruik van koelcontainers hangt niet alleen van de buitentemperatuur af, maar ook van de binnentemperatuur en de k-waarde van de koelcontainers. De k-waarde is de isolatiewaarde van koelcontainers. Door deze isolatiewaarde te vermenigvuldigen met het isolerend oppervlak van een koelcontainer (wanden, dak en vloer) wordt het warmteverlies verkregen. Het maximaal warmteverlies voor koelcontainers ligt ongeveer tussen de 30 en 35 kcal/h°C⁽¹⁹⁾. Dit komt neer op 0,04 kW/°C.

Andere invloeden op het energieverbruik buiten de temperatuur zijn de wind en de zon. De wind en de zon hebben een nadelig effect op het energieverbruik van koelcontainers^(d). Door de koelcontainers overdekt of ondergronds op te slaan worden deze invloeden weggenomen. Deze invloeden worden verder buiten beschouwing gelaten. Aangenomen wordt dat er in de ondergrondse opslag voor koelcontainers een energievoordeel te behalen is. Dit zal later in dit hoofdstuk worden verder worden uitgewerkt.

Zoals eerder al is uitgegaan van elektrisch materieel ondergronds, wordt er nu ook vanuit gegaan dat de koelcontainers ondergronds worden aangesloten op het elektriciteitsnet. Hierdoor hoeven de generatoren die aan de koelcontainer vastzitten niet op brandstof te draaien en hebben ze dus geen uitstoot van uitlaatgassen.

5.4.2 Energiebesparing

Een van de redenen om koelcontainers en koel- en vriesloodsen ondergronds te brengen is dat dit een energiebesparing kan opleveren. Naast het voordeel van de constante temperatuur, is ondergronds de invloed van zon en wind te verwaarlozen. Deze laatste twee factoren dragen ook bij aan het energieverbruik van koelcontainers, maar worden hier verder niet berekend.

Koelcontainers hebben een warmteverlies van maximaal 35 kcal/h°C (40 ft container). Dit komt neer op 0,04 kWh/h°C. Hoe groter het temperatuurverschil tussen de temperatuur in de koelcontainer en de buitentemperatuur, des te groter het verlies aan warmte en des te meer energie moet er toegevoegd worden. Voor elke graad verschil is er een warmte verlies van 0,04 kilowatt. Dus bij 10 graden verschil tussen de temperatuur in de koelcontainer en de temperatuur buiten de koelcontainer moet er 0,4 kW vermogen extra worden geleverd.

Ondergronds heerst er een redelijk constante temperatuur van 10° C. Indien de buitentemperatuur bovengronds 18° C is, is het absolute temperatuurverschil 8 graden. Er is dan een vermindering van warmteverlies van 0,32 kWh/h per koelcontainer. Bij een gemiddelde statijd van 3 dagen (72 uur) en 50.000 containers op jaar basis kan dit een totale besparing opleveren van ruim 1 miljoen kWh. In Nederland is echter niet de gemiddelde temperatuur 18 graden, zoals in het bovenstaande voorbeeld. Over de afgelopen 30 jaar was de gemiddelde temperatuur 9,8° C. Het jaarcijfer van 2000 was 10,9° C. In bijlage VI staat de temperatuursverdeling gegeven over een jaar. Er wordt gerekend met gemiddelde maandtemperaturen. Alleen de maandtemperaturen boven de 10° Celsius worden meegenomen in de berekening omdat hier een positief resultaat te halen is.

Buitemperaturen onder de 10° Celsius worden als neutraal beschouwd. In bijlage VI is de berekening weergegeven. Uit deze berekening kan worden geconcludeerd dat de energiebesparing alleen bij koelcontainers niet erg groot is, ongeveer 80 tot 90 duizend gulden per jaar bij een energieprijis van f 0,25 gulden. Hierbij is niet de invloed van de zon berekend. Indien de zon wel wordt meegenomen in de berekening, dan wordt naar verwachting op een hoger resultaat uitgekomen.

Ondanks de geringe energiebesparing bij koelcontainers is er wel een ander voordeel van het opslaan van koelcontainers ondergronds. Omdat de temperatuur ondergronds redelijk constant is, kan worden bespaard op het elektrisch vermogen. Vaak is het elektrisch vermogen 10 kW en gedimensioneerd op een buitentemperatuur van 38° Celsius. Omdat deze temperatuur ondergronds normaal gesproken niet zal optreden zal het elektrisch vermogen van de aansluiting niet 10 kW hoeven te zijn, maar significant minder.

Bij koel- en vriesloodsen is de energiebesparing naar verwachting groter. Doordat er ondergronds een goede isolatie is, is er maar weinig verlies. Bij een ondergrondse koelloods voor fruit kan er een energiebesparing optreden van 3 tot 5 procent⁽²²⁾. Bij vriesloodsen kan zelfs nog een grotere besparing optreden vanwege het grotere temperatuurverschil. Deze besparing zal in een later stadium nauwkeuriger worden berekend.

Een ander voordeel van de constante temperatuur ondergronds is dat ondergrondse koelhuizen niet of zelden hoeven te verwarmen. In tijden van vorst moeten bovengrondse koelhuizen ook verwarmd kunnen worden om te zorgen dat de temperatuur niet te laag wordt. Dit stelt ook weer extra eisen aan de klimaatinstallatie.

6 Ontwikkelen concepten

6.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk zijn er aannames gemaakt en randvoorwaarden opgesteld. Aan de hand hiervan kunnen concepten worden ontwikkeld en uitgewerkt. In dit hoofdstuk zullen er concepten worden ontwikkeld voor het ondergronds brengen van koelcontainers. De mogelijkheden voor het ondergronds brengen van koelcontainers zijn al aangegeven in hoofdstuk 3. Deze mogelijkheden kunnen worden gecombineerd met verschillende soorten materieel op de terminal. In paragraaf 6.2 wordt dit bekeken aan de hand van een conceptenboom. Er zal een aantal concepten en varianten ontstaan. De concepten die zijn ontstaan worden in paragraaf 6.3 t/m 6.5 verder uitgewerkt. In paragraaf 6.6 worden nog enkele varianten opgesteld waarbij de opslag van koelcontainers niet geheel ondergronds is. Naast de ondergrondse opslag voor koelcontainers is er ook een distributiecentrum. In hoofdstuk 6.7 worden enkele concepten opgesteld voor het distributiecentrum.

6.2 Opstellen conceptenboom voor ondergrondse opslag

Aan de hand van een conceptenboom kunnen er concepten en varianten worden opgesteld voor de ondergrondse opslag. Het gaat hierbij vooral om de logistieke aspecten, zoals de te gebruiken transporttechnieken en het materieel. Er wordt in de conceptenboom gekeken naar de wijze van ondergronds brengen van de koelcontainers in combinatie met het interne transport. Het vervoer en de opslag ondergronds van de koelcontainers wordt bij het uitwerken van enkele concepten in beschouwing genomen.

6.2.1 Intern vervoer bovengronds

In de vorige hoofdstukken is bepaald dat de gehele terminal een jaarlijkse doorvoer heeft van 1,5 miljoen TEU en dat er voor deze terminal een aantal type voertuigen geschikt is voor het interne vervoer bovengronds. In de conceptenboom worden de volgende typen materieel in beschouwing genomen:

- Automated Guided Vehicle (AGV)
- lage straddle carrier / Automated Lift Vehicle (ALV)
- (multi) trailer
- hoge straddle carrier

Eerder was echter ook al aangenomen dat voor het bovengrondse interne transport van containers gebruik zal worden gemaakt van een AGV, een ALV of een lage straddle carrier. De (multi) trailer en de hoge straddle carrier worden toch meegenomen in de conceptenboom om te zien of daar wellicht interessante varianten uit voort kunnen komen. De specifieke eigenschappen, de voordelen en nadelen van elke transporttechniek staan beschreven in hoofdstuk 3 en bijlage V.

6.2.2 Transporttechniek bovengronds ondergronds

In hoofdstuk 3 zijn de transporttechnieken die mogelijk zijn voor het transport van koelcontainers naar de ondergrondse opslag al genoemd. De mogelijkheden die in beschouwing worden genomen zijn:

- Transport via een lift.
- Transport via een rijbaan onder een helling.
- Een kadekraan die een container direct laat zakken.
- Een straddle carrier die de container laat zakken door een opening.
- Een ASC of een OBC die de container laat zakken door een opening

Niet elke techniek kan worden gecombineerd met de bovengenoemde voertuigen voor het interne transport.

Een AGV kan bijvoorbeeld goed worden gecombineerd met een lift, een rijbaan onder een helling of een bovengrondse ASC of OBC. Ditzelfde geldt voor een trailer. Een (hoge) straddle carrier kan een container laten zakken via een opening in de grond of de container in een lift zetten. Een hoge straddle carrier wordt over het algemeen niet in combinatie met een ASC gebruikt. Een ALV kan in principe hetzelfde als een AGV, maar kan de container ook direct laten zakken via een opening in de grond.

Er kan verder onderscheid worden gemaakt tussen transporttechnieken die zowel bovengronds als ondergronds hetzelfde materieel gebruiken en transporttechnieken waarbij het ondergrondse materieel gescheiden blijft van het bovengrondse materieel. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval als gebruik wordt gemaakt van een ASC of een straddle carrier die een container laat zakken door een opening in de grond. In het geval van een lift of een rijbaan onder een helling kan het voertuig zowel bovengronds als ondergronds rijden. Tot slot kan de kadekraan de container ook nog direct laten zakken. In dit geval vindt er geen intern vervoer bovengronds plaats, maar gaat de koelcontainer direct naar de terminal ondergronds.

6.2.3 Conceptenboom voor de ondergrondse opslag

In figuur 6.1 staat de ontwikkelde conceptenboom weergegeven. De conceptenboom geeft alleen de mogelijkheden aan voor het interne vervoer bovengronds en het verticale transport naar de ondergrondse opslag. Over het algemeen kunnen er drie concepten worden onderscheiden, namelijk:

- Een concept waarbij er gebruik wordt gemaakt van een lift om de container ondergronds te brengen. Dit wordt het liftconcept genoemd.
- Een concept waarbij er gebruik wordt gemaakt van een rijbaan onder een helling om de container ondergronds te brengen. Dit wordt in het vervolg het rijbaanconcept genoemd.
- Een concept waarbij de container door een opening in de grond ondergronds wordt gebracht. Dit zal het openingconcept worden genoemd.

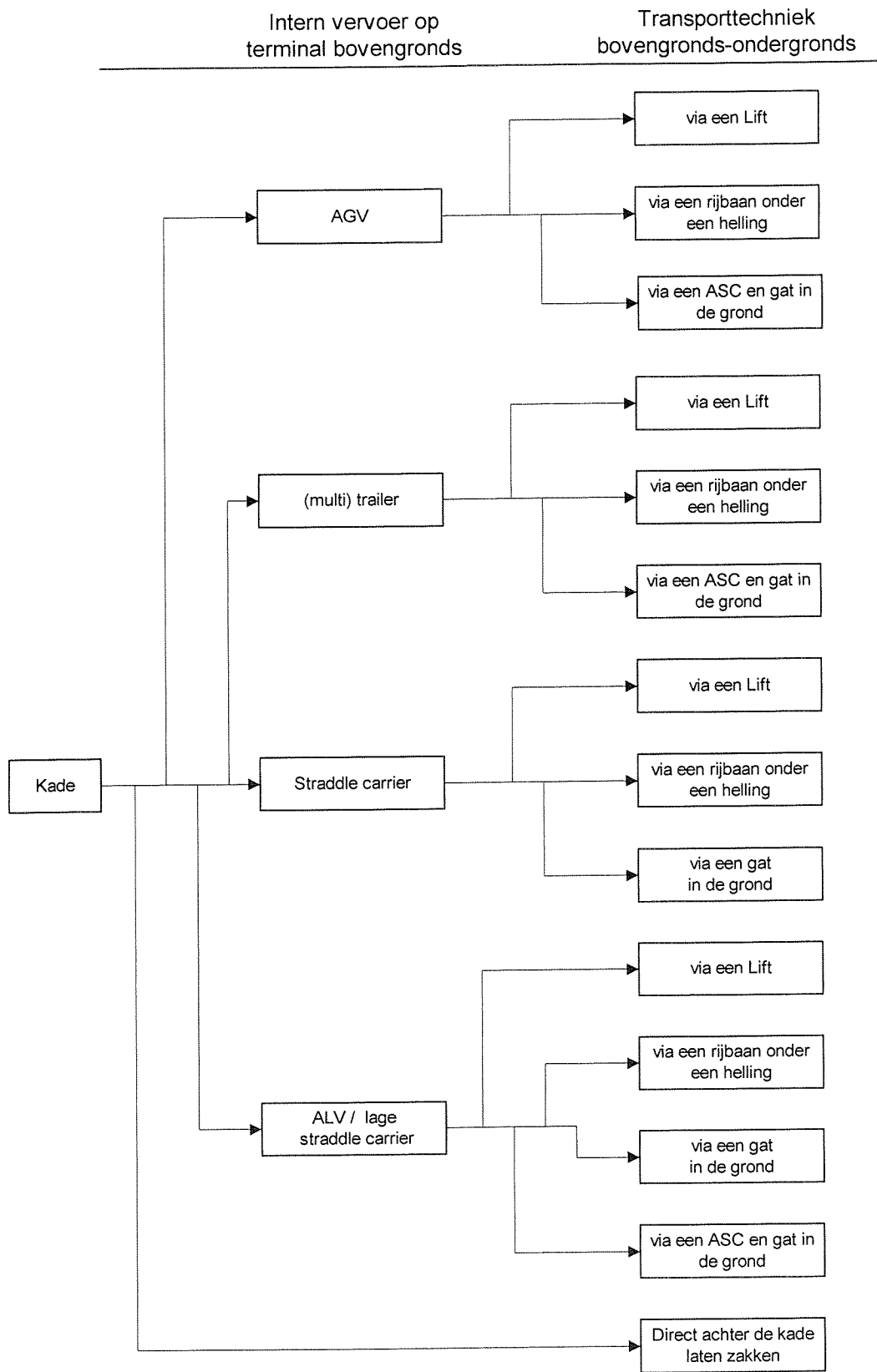
Deze drie concepten zullen in de volgende paragrafen verder worden uitgewerkt. Hierbij zal het proces worden beschreven en zullen er mogelijkheden worden aangedragen voor het ondergrondse vervoer en de ondergrondse opslag.

De mogelijkheden (varianten) in de conceptenboom die voor het bovengrondse interne transport gebruik maken van een hoge straddle carrier of een (multi) trailer, vallen door de aannames die gedaan zijn in hoofdstuk 5 in principe af. Toch zijn er enkele varianten bij die niet ondenkbaar zijn, bijvoorbeeld bij een kleinere terminal, en dus genoemd worden.

Een trailer of een multi trailer zou in principe goed gecombineerd kunnen worden met het rijbaanconcept. Ondergronds zouden de containers eventueel op de trailers kunnen blijven staan. Het voordeel is dan dat er alleen terminaltrekkers aan te pas hoeven te komen en geen ander overslag materieel.

Ook bij het gebruik van hoge straddle carriers is er een variant die goed mogelijk zou kunnen zijn. Hoge straddle carriers worden alleen gebruikt voor het interne vervoer als de opslag ook door straddle carriers wordt verzorgd. Ze zouden dan goed gecombineerd kunnen worden met het openingconcept. De straddle carrier zou de koelcontainer door een opening in de grond naar beneden kunnen laten zakken. De container zou daar bijvoorbeeld door een elektrische forklift truck kunnen worden opgepakt en in de opslag worden gezet.

In het vervolg van de studie worden alleen de varianten in beschouwing genomen die gebruik maken van een AGV of een ALV. In plaats van een ALV kan ook gedacht worden aan een lage straddle carrier die handmatig wordt bediend. Deze twee worden voor het overzicht voorlopig onder één noemer geplaatst.



Figuur 6.1: conceptenboom

6.2.4 Intern vervoer en opslag ondergronds

Tot nu toe is alleen het interne vervoer bovengronds en de wijze van ondergronds brengen van de koelcontainers aan de orde geweest. Voor het ondergrondse interne transport en de ondergrondse opslag is een aantal mogelijkheden, die hieronder worden toegelicht. Over het algemeen kunnen de volgende mogelijkheden worden onderscheiden:

1. OBC/ bovenloopkraan
2. FLT
3. ALV (of lage straddle carrier)
4. Lopende band systeem of rail systeem

Bij de eerste mogelijkheid wordt voor de opslag gebruik gemaakt van een Overhead Bridge Crane. In dit geval kan een OBC ook wel een bovenloopkraan genoemd worden. Het grote voordeel van een bovenloopkraan is dat de opslagdichtheid ondergronds groot is. Een ander voordeel is dat er door de bovenloopkraan geen dynamische belastingen worden uitgeoefend op de vloer van de ondergrondse opslag. De krachten worden via de kolommen afgedragen aan de fundering. Een nadeel van een ondergrondse bovenloopkraan is dat er vrij veel vrije ruimte nodig is boven de opslag.

Bij gebruik van een forklift truck is de vrije ruimte die nodig is minder groot. Dit is dan meteen het enige voordeel van een forklift truck. Forklift trucks hebben erg grote aslasten, doordat ze zware containers kunnen oppakken. Dit stelt constructief gezien hoge eisen aan de vloer van de ondergrondse opslag. Daarnaast is de opslagdichtheid een stuk kleiner dan bij een bovenloopkraan en is er een grotere kans op het beschadigen van kolommen.

Bij een ALV of een lage straddle carrier is de opslagdichtheid groter dan bij forklift trucks, maar net als bij een OBC is de benodigde vrije ruimte groot. De aslasten zullen bij een ALV minder zijn doordat het gewicht over meer wielen wordt verdeeld.

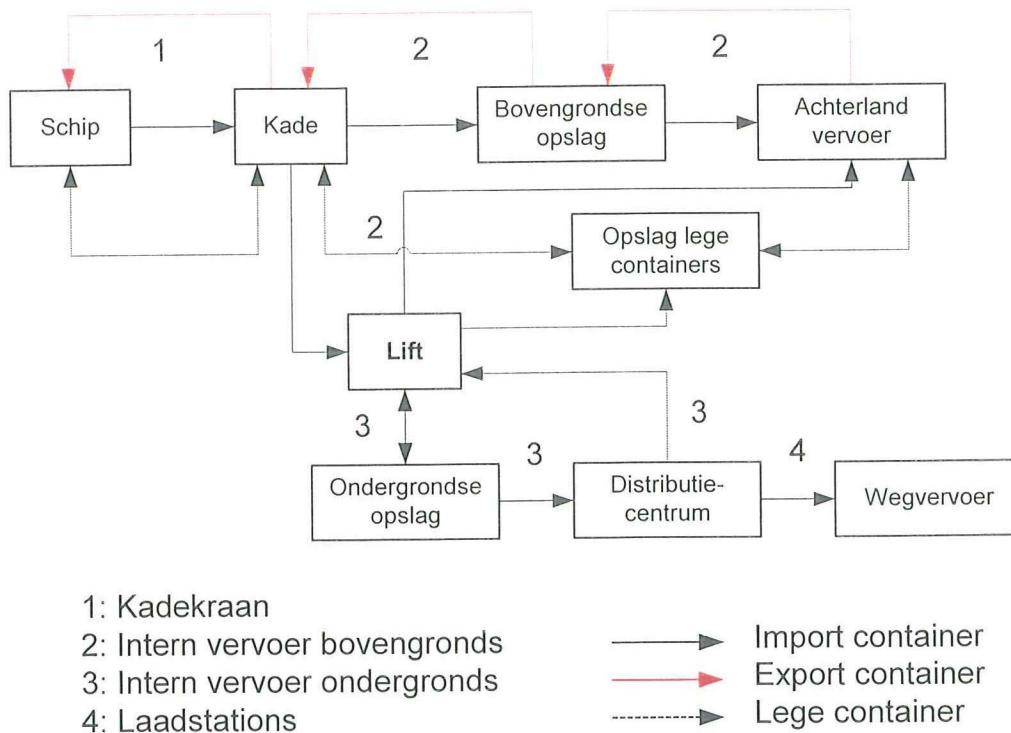
Tot slot wordt er een soort lopende band systeem of railsysteem beschouwd. Bij dit systeem kunnen de containers maar 1 hoog worden weggezet. Hierdoor kan er een lage opslag worden gecreëerd. De container kan van de band of de rail worden gehaald met een soort bovenloop kraan.

Wat de beste mogelijkheid is om ondergronds containers op te slaan hangt ook af van de wijze waarop de containers ondergronds worden gebracht en het interne vervoer bovengronds. Constructief gezien biedt de bovenloopkraan de meest voordelen ten opzicht van de andere mogelijkheden. Bij de uitwerking van de concepten zal verder uitgegaan worden van een bovenloopkraan voor de ondergrondse opslag.

6.3 Liftconcept

Het liftconcept maakt gebruik van een lift om de container ondergronds te brengen. Het algemene proces op een containerterminal is al behandeld in hoofdstuk 3. Nu is er echter een ondergronds opslag- en distributiecentrum aan de terminal toegevoegd, waardoor het stroomdiagram van containers op een containerterminal uitgebreider wordt.

In figuur 6.2 is het stroomdiagram te zien waarbij er gebruik wordt gemaakt van een lift voor het verticale transport om de containers ondergronds te brengen. Er is onderscheid gemaakt tussen import containers, export containers en lege containers.



Figuur 6.2: stroomschema met liftconcept

Een container wordt door een kadekraan van het schip gehaald. Als het een gewone container betreft of een container die weer terug gaat op een schip (zee-zee) wordt de container naar de bovengrondse opslag vervoerd en opgeslagen in een stack. Afhankelijk van het type vervoer wordt de container weer uit de opslag gehaald en op de juiste vervoersmodaliteit gezet richting het achterland of op een schip naar een andere haven. Indien het een import koelcontainer betreft wordt de koelcontainer door het interne transport naar de lift gebracht. Er zijn nu twee opties:

- Een AGV gaat met de koelcontainer ondergronds. In de ondergrondse ruimte rijdt de AGV naar de juiste stack toe en wordt de container door de bovenloopkraan van de AGV gehaald en in de opslag geplaatst.
- Een ALV zet de container in de lift en de container wordt met de lift ondergronds gebracht. De container moet er ondergronds worden uitgehaald met een soort lopende band systeem en wordt naar de juiste stack getransporteerd, waar de bovenloopkraan de container in de opslag plaatst.

Als de koelcontainer in de ondergrondse opslag staat zijn er 2 mogelijkheden: de koelcontainer wordt naar het achterland vervoerd met achterlandtransport of de koelcontainer gaat naar het distributiecentrum om uitgepakt te worden.

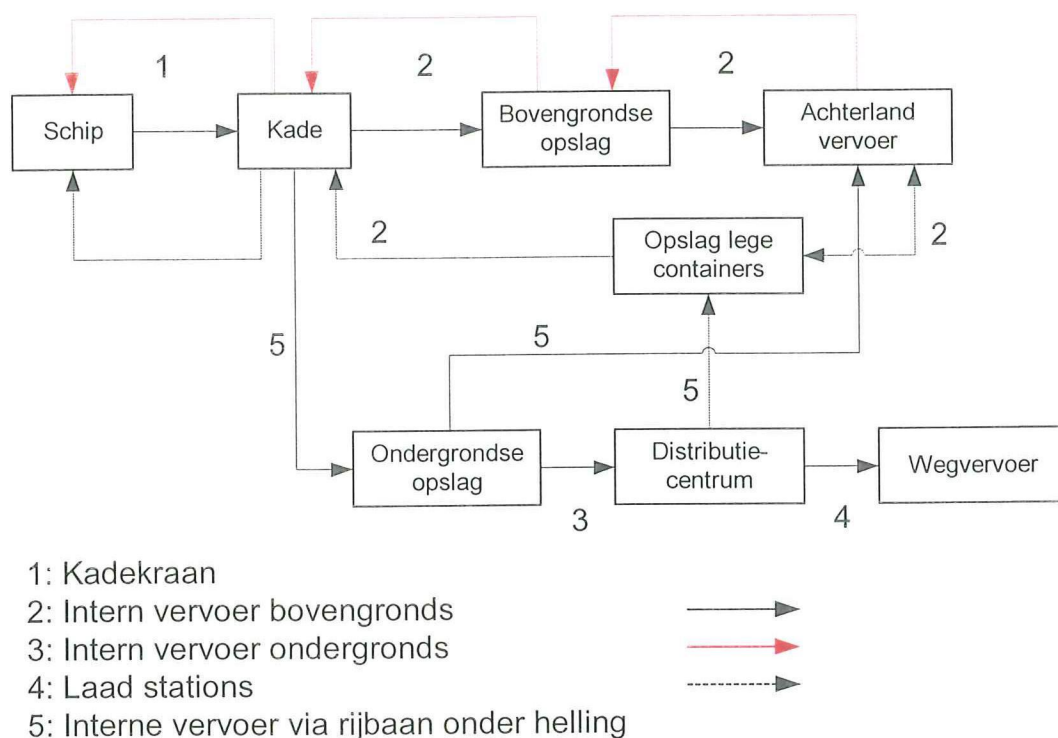
In het eerste geval wordt de koelcontainer door de bovenloopkraan uit de opslag gehaald en naar de lift gebracht. De lift brengt de container weer bovengronds en deze wordt vervolgens met het interne transport naar de plaats gebracht waar de koelcontainer op de andere vervoersmodaliteit kan worden overgeslagen.

In het tweede geval wordt de container uit de opslag gehaald door de bovenloopkraan en naar de plaats gebracht waar de container kan worden uitgeladen. De inhoud van de container wordt vervolgens opgeslagen in het distributiecentrum. Als de container leeg is wordt deze met het ondergrondse interne transport weer naar de liften gebracht en weer bovengronds gebracht. De lege container kan nu naar de opslag voor lege containers, ook wel empty depot genoemd. Dit is een speciale stack op de containerterminal waar alleen lege containers worden opgeslagen.

In tekening 3 van bijlage X is het idee van het liftconcept weergegeven. Een voordeel van het liftconcept is dat de gehele ondergrondse ruimte kan worden afgesloten. Hierdoor zou de ruimte waarin de containers worden opgeslagen zelfs gekoeld kunnen worden. Bovendien is er geen wateroverlast door inregenen. Een nadeel is dat er een aantal liften nodig zijn om in geval van een defecte lift wachttijden te voorkomen.

6.4 Rijbaanconcept

Het rijbaanconcept is het tweede concept wat zal worden beschouwd. Bij dit concept is het de bedoeling dat de voertuigen die het transport tussen de kade en de opslag verzorgen, zowel bovengronds als ondergronds kunnen rijden. De containers die ondergronds gaan worden dus direct door het bovengrondse interne transport ondergronds gebracht via een rijbaan onder een helling. Het stroomschema van het rijbaanconcept staat weergegeven in figuur 6.3 hieronder.



Figuur 6.3: stroomschema met rijbaanconcept

Een container wordt door een kadekraan van het schip gehaald. Het proces van een gewone container of een zee-zee container is niet anders dan bij het liftconcept. Deze containers worden door het bovengrondse interne transport naar de opslag gebracht en opgeslagen. Als deze containers worden opgehaald worden ze weer uit de opslag gehaald en naar de betreffende vervoersmodaliteit gebracht.

Een import koelcontainer wordt door het interne vervoer (een AGV of ALV) via een rijbaan onder een helling van 4 à 5 procent, direct ondergronds gebracht. Het voertuig dat de container ophaalt bij de kadekraan gaat dus ondergronds. De container hoeft niet extra worden overgeslagen. Ondergronds wordt de container door een bovenloopkraan opgepakt en in de ondergrondse opslag gezet. In het geval dat de koelcontainer niet naar het distributiecentrum gaat wordt de koelcontainer door de bovenloopkraan weer uit de ondergrondse opslag gehaald en door het interne vervoer via de rijbaan onder een helling bovengronds gebracht naar de plaats waar de koelcontainer wordt overgeslagen voor verder transport. In het geval dat de koelcontainer wel naar het distributiecentrum gaat, wordt de

koelcontainer uit de opslag gehaald en naar de plaats gebracht waar de koelcontainer wordt uitgepakt. De lading wordt opgeslagen in het distributiecentrum en de lege koelcontainer wordt via dezelfde rijbaan met het interne transport naar de empty depot gebracht. Een voordeel van het rijbaanconcept is dat de ondergrondse opslag ten alle tijden bereikbaar is. Een nadeel is echter dat alle voertuigen een groter vermogen moeten hebben dan normaal om de helling op te rijden en dat de rijafstanden groter worden. Het idee van het rijbaanconcept is weergegeven in tekening 4 van bijlage X.

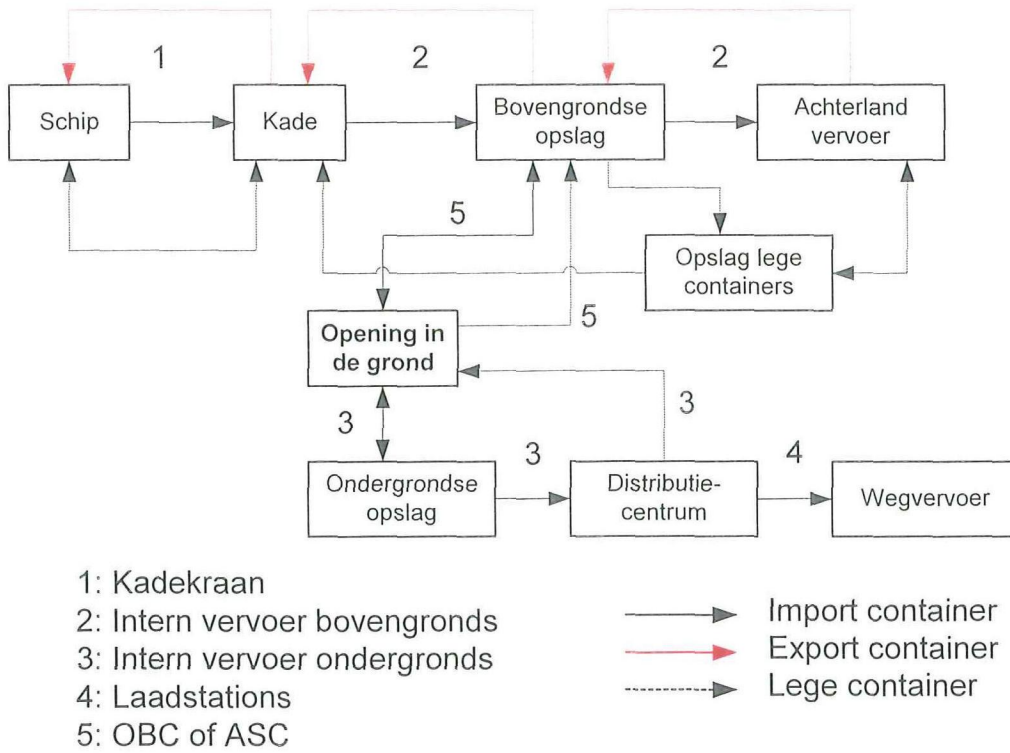
6.5 Openingconcept

Tot slot wordt het openingconcept beschouwd. Het idee van dit concept is dat het bovengrondse materieel de koelcontainers in de ondergrondse ruimte kunnen brengen zonder dat dit materieel ondergronds gaat. Bij het openingconcept zijn er drie mogelijkheden om de container ondergronds te brengen. Zo kan een bovengrondse ASC of een OBC de container door een opening laten zakken naar de ondergrondse ruimte, maar dit kan ook direct gedaan worden door een straddle carrier of een ALV. Deze twee mogelijkheden zullen hieronder worden beschreven. Het proces van gewone containers en zee-zee containers is hier hetzelfde als bij de andere concepten en wordt nu verder buiten beschouwing gelaten. De derde mogelijkheid is dat de kadekraan de container direct door een opening laat zakken. Omdat aan deze mogelijkheid nogal wat nadelen kleven, wordt deze mogelijkheid hier verder buiten beschouwing gelaten.

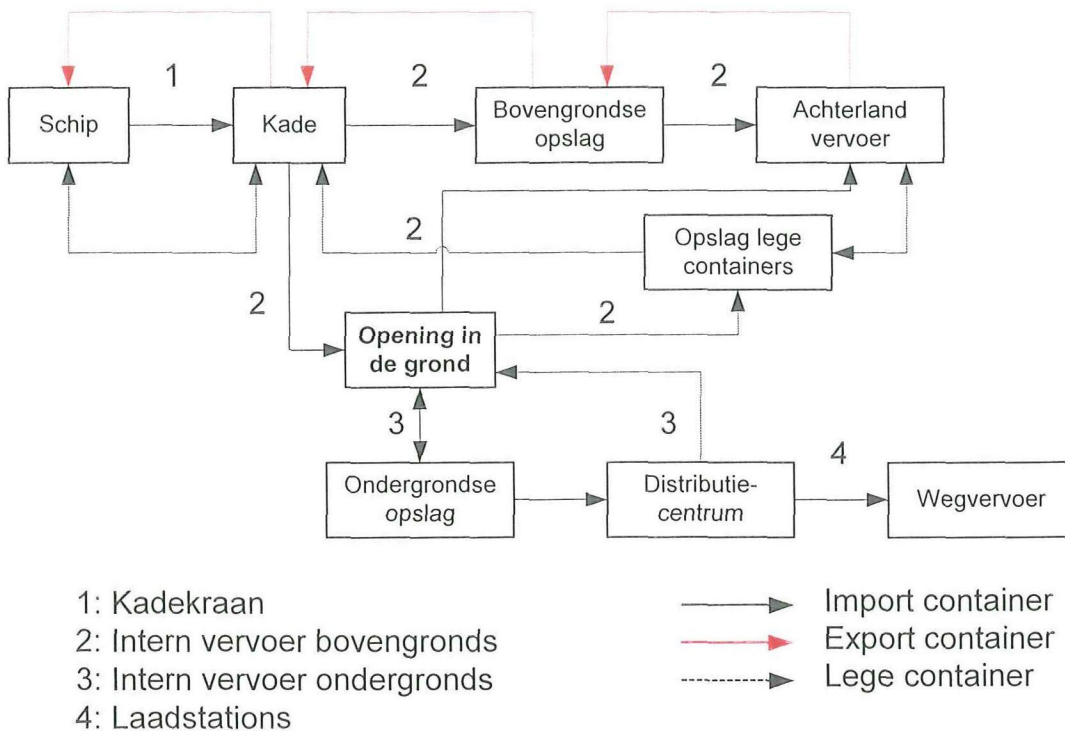
Het eerste alternatief binnen het openingsconcept is dat de ASC of OBC van een bovengrondse stack de container door een opening kan laten zakken. De kadekraan haalt een koelcontainer van het schip en zet deze op een AGV. De AGV rijdt naar een speciale stack die een opening in de grond heeft. De bovengrondse ASC of de OBC haalt de koelcontainer van de AGV af en positioneert deze boven de opening. Vervolgens kan de ASC of de OBC de koelcontainer laten zakken. Ondergronds zijn er een aantal mogelijkheden. De container kan door de ASC of de OBC op een AGV worden gezet. Deze rijdt vervolgens naar een stack toe, waar de koelcontainer weer van de AGV af kan worden gehaald door een ondergrondse ASC of OBC. Bij deze variant wordt de koelcontainer wel vaak overgeslagen en moet het materieel goed op elkaar afgestemd zijn om wachtrijen te voorkomen. Een andere mogelijkheid is dat de bovengrondse ASC of OBC de koelcontainer op een soort lopende band neerzet die de koelcontainers naar de juiste stack vervoert. Een bovenloopkraan kan de container er dan vervolgens afpakken en in de stack plaatsten. Als de container niet naar het distributiecentrum gaat wordt deze uit de opslag gehaald door de bovenloopkraan en door de ASC of de OBC bovengronds gebracht en naar de landzijdige afvoer gebracht om op het achterlandtransport gezet te worden. Hierbij kan ook gedacht worden aan nog een opening in de grond ter plaatse van deze landzijdige afvoer. Hierdoor worden de transportafstanden beperkt.

Indien de container wel naar het distributiecentrum gaat wordt deze vanuit de ondergrondse opslag naar het distributiecentrum vervoerd. De lege container (na het uitladen) wordt weer bovengronds gebracht en naar de opslag voor lege containers gebracht. Het stroomschema van dit alternatief staat weergegeven in figuur 6.4.

Het tweede alternatief binnen het openingsconcept is dat het materieel voor het interne transport, in dit geval een ALV of een lage straddle carrier, de koelcontainer door een opening in de grond laat zakken. De kadekraan zet de koelcontainer op de kade. De ALV pakt de container op en rijdt naar de plaats toe waar de openingen in de grond zich bevinden. De ALV rijdt over de opening heen en kan de container laten zakken als deze boven de opening is gebracht. Ondergronds zet een bovenloopkraan de container weer in de stack. Bij deze mogelijkheid van het openingconcept worden de koelcontainers door de ALV ondergronds gebracht, zonder dat de ALV zelf dus ondergronds gaat.



Figuur 6.4: stroomschema met openingsconcept en ASC of OBC



Figuur 6.5: stroomschema met openingsconcept en ALV of lage straddle carrier

Het principe is verder hetzelfde als het alternatief waarbij de container door een ASC of een OBC ondergronds wordt gebracht. Een voordeel is echter dat de container minder vaak hoeft worden overgeslagen. Het stroomschema van dit alternatief verschilt echter iets in vergelijking met het eerste alternatief. Dit is te zien in figuren 6.4 en 6.5

Bij beide mogelijkheden wordt het materieel bovengronds gescheiden van het materieel ondergronds. Dit heeft als voordeel dat er niet veel aanpassingen aan het materieel nodig is. Een overzichtstekening van het openingsconcept staat weergegeven in tekening 5 in bijlage X. In tekening 6 van bijlage X staan de 3 concepten onder elkaar weergegeven.

6.6 Opstellen concepten gedeeltelijk ondergronds

Hiervoor is er vanuit gegaan om zowel het distributiecentrum als de ondergrondse opslag voor koelcontainers ondergronds uit te voeren. In hoofdstuk 4 kwam al naar voren dat ondergronds bouwen duur is en in hoofdstuk 5 kwam naar voren dat het ondergrondse opslaan van koelcontainer geen groot energievoordeel oplevert. Indien het ondergronds opslaan van koelcontainers niet voldoende voordelen met zich mee brengt kan ook nog gedacht worden aan een aantal andere mogelijkheden.

6.6.1 Bovengrondse opslag en ondergronds distributiecentrum

In het geval van een bovengrondse opslag en een ondergronds distributiecentrum kan de bovengrondse opslag van de koelcontainers boven het distributiecentrum worden gesitueerd. Hierdoor is er wel meervoudig ruimtegebruik, maar deze oplossing heeft weinig invloed op de grootte van de totale containerterminal.

De koelcontainers worden in een aparte stack opgeslagen. Deze situatie leent zich erg goed voor het concept waarbij de container door een opening in de grond, ondergronds kan worden gebracht. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren door een ASC, een OBC of een straddle carrier, afhankelijk van het type opslag dat op de terminal wordt gehanteerd. Ondergronds kan de koelcontainer worden neergezet en worden opgepakt door bijvoorbeeld een forklift truck of een bovenloopkraan, die de container zo neer zet dat deze uitgeladen kan worden. Containers die niet naar het distributiecentrum gaan, kunnen direct vanuit de opslag op een vrachtauto worden gezet, net als gewone containers op de terminal.

Om de containers enigszins te beschermen tegen zonlicht en wind, kan er een constructie worden bedacht om deze weersinvloeden enigszins weg te nemen. Te denken valt aan een windscherm of een soort dakconstructie.

Een bijkomend voordeel is dat het dak van het distributiecentrum minder zwaar hoeft worden uitgevoerd. Koelcontainers worden over het algemeen maar twee of drie hoog gestapeld, terwijl normale containers drie of vier hoog worden gestapeld, hetgeen dus een grotere bovenbelasting geeft. Bovendien zijn koelcontainers vaak minder zwaar geladen dan gewone containers. Het idee van deze mogelijkheid staat weergegeven in tekening 7 van bijlage X.

6.6.2 Verdiepte opslag en ondergronds distributiecentrum

Bij deze variant wordt de opslag voor koelcontainers verdiept aangelegd. De belangrijkste reden hiervoor zou zijn dat zonlicht en wind vermeden worden. In dit geval wordt de ruimte ter plaatse van de opslag voor koelcontainers niet dubbel gebruikt. Boven de bakconstructie zou een ASC of een RMG kunnen rijden die de koelcontainers in de verdiepte opslag plaatst. In vergelijking met de vorige variant hoeft er nu geen grote dakconstructie over alle koelcontainers heen gebouwd te worden om het zonlicht weg te nemen. Een nadeel van deze variant is wel dat er wateroverlast kan optreden in de verdiepte opslag bij hevige regen of sneeuw. Er zullen maatregelen moeten worden getroffen om deze wateroverlast te voorkomen.

Het distributiecentrum is wel geheel ondergronds. Boven het distributiecentrum kan nog opslag plaatsvinden voor gewone containers of lege containers. Lege containers hebben het voordeel dat ze een kleinere bovenbelasting leveren.

6.7 Distributiecentrum

In de vorige paragrafen is een aantal logistieke concepten en varianten voor de ondergrondse opslag ontwikkeld. In deze paragraaf zal het distributiecentrum aan de orde komen. Bij het opstellen van de concepten voor de ondergrondse opslag is het proces steeds beschreven tot in de ondergrondse opslag. Voor het proces in het distributiecentrum is deze ondergrondse opslag het startpunt. Het algemene proces gaat als volgt in zijn werk voor een koelcontainer komende uit de ondergrondse opslag: Op het moment dat de koelcontainer uitgeladen kan worden bij het distributiecentrum, wordt deze uit de opslag gehaald en naar het distributiecentrum gebracht. Daar aangekomen wordt de koelcontainer leeggehaald en de koel- en vrieslading wordt in de koel- en vriesloodsen opgeslagen. Als de koel- en vrieslading wordt opgehaald wordt deze weer uit de koel- en vriesloodsen gehaald en naar de docking stations (laadstations) gebracht. Dit is de plaats waar vrachtwagens worden geladen. De docking stations zijn op gelijke hoogte als het distributiecentrum. Dit houdt in dat de vrachtwagens via een rijbaan onder een helling naar beneden moeten rijden om geladen te worden. De vrachtwagens worden geladen met vorkhef trucks. Als de vrachtwagens geladen zijn rijden ze via de rijbaan onder een helling weer naar het maaiveld. Het bovenstaande proces is voor de importstroom van een koelcontainer. De export vindt in omgekeerde volgorde plaats. Aangezien aangenomen is dat er alleen importcontainers naar de ondergrondse opslag gaan, wordt er vanuit gegaan dat het distributiecentrum ook alleen importcontainers behandelt. Indien in de praktijk blijkt dat niet het gehele distributiecentrum gevuld kan worden met importlading, kan nog worden overgegaan op exportlading. De lading komt dan over land bij de terminal aan en wordt opgeslagen in het distributiecentrum. Een lege koelcontainer wordt dan gevuld en gaat naar de opslag, eventueel bovengronds. In een distributiecentrum voor koel- en vrieslading zijn vaak meerdere loodsen. Elke loods heeft dan zijn eigen temperatuur. In de loodsen wordt gebruik gemaakt van stellages waarin de pallets worden geplaatst. Bij het functioneel ontwerp van het ondergrondse opslag- en distributiecentrum wordt dit verder uitgewerkt. Op het moment dat de afnemer een bepaalde lading komt ophalen, wordt deze lading uit de opslag gehaald en naar de docking stations gebracht.

Naast het in en uitpakken van containers en vrachtwagens en het plaatsen van de koel- en vrieslading in de opslag, kunnen er ook andere activiteiten plaatsvinden in het distributiecentrum. Zo kunnen er bijvoorbeeld douane controles en veterinaire keuringen plaatsvinden. Voor deze activiteiten moet ook ruimte worden gereserveerd.

Voor de logistiek binnen het distributiecentrum zijn twee mogelijkheden te bedenken. Bij de eerste mogelijkheid wordt de container uit de opslag gehaald en direct bij het distributiecentrum uitgeladen. Bij de tweede mogelijkheid wordt de koelcontainer uit de opslag gehaald, bovengronds gebracht en op een chassis gezet. Dit chassis wordt dan door een terminaltrekker naar de laadstations gebracht, waar de containers kunnen worden gelost. Deze twee varianten zullen hieronder verder worden uitgewerkt.

6.7.1 Variant 1: direct uit opslag naar distributiecentrum

Bij deze variant blijft de container onder de grond. Afhankelijk van het concept om de koelcontainers ondergronds te krijgen en de werktuigen die daarbij gebruikt worden, wordt de koelcontainer naar het distributiecentrum vervoerd of bij de opslag op de vloer gezet zodat deze kan worden uitgeladen. Het distributiecentrum en de ondergrondse opslag moeten wel zo dicht bij elkaar liggen dat de containers ondergronds niet over een te grote afstand vervoerd hoeven te worden; door de vele kolommen ondergronds is het niet wenselijk de containers ondergronds over grote afstanden te transporten. Bij het functionele ontwerp moet nu rekening worden gehouden met het feit dat de aanvoer van pallets via containers gescheiden plaatsvindt van de afvoer van pallets via de laadstations in vrachtauto's en koelwagens.

Het proces van de koelcontainer bij het distributiecentrum is nu als volgt: De koelcontainer wordt door de bovenloopkraan uit de opslag gehaald en op de grond gezet. De container kan daar blijven staan en worden leeggehaald door vorkhef trucks of worden verplaatst door ondergronds materieel naar de plaats waar de koelcontainers kunnen worden gelost. Als de koelcontainer leeg is gehaald, kan deze weer bovengronds worden gebracht op dezelfde wijze als de container ondergronds is gebracht. Bovengronds wordt de koelcontainer naar de opslag voor lege containers vervoerd.

6.7.2 Variant 2: uit opslag op chassis

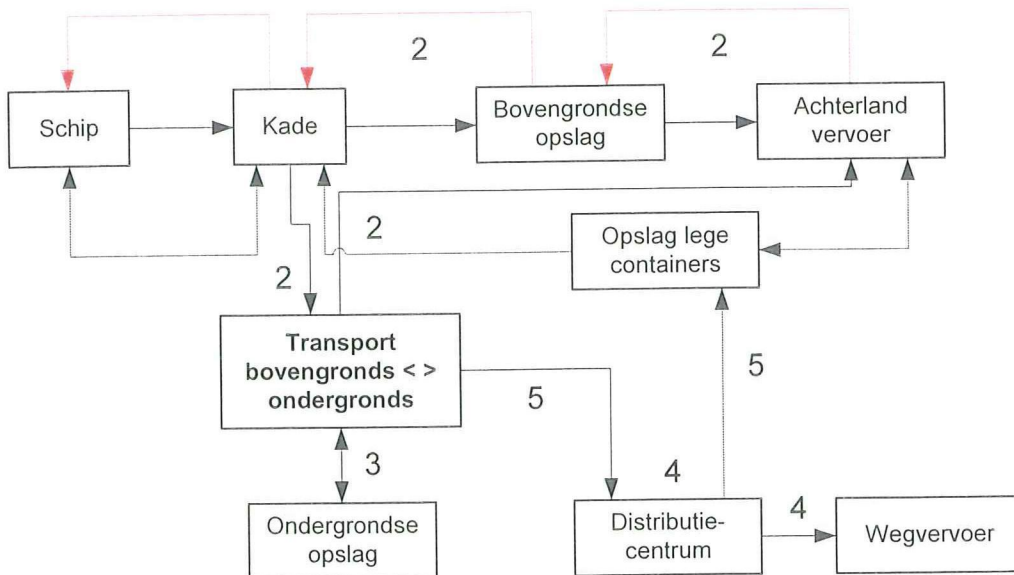
In dit geval blijft de koelcontainer niet geheel ondergronds. De koelcontainer wordt uit de opslag gehaald door de bovenloopkraan. Afhankelijk van het concept dat wordt toegepast om de containers ondergronds te brengen, kan de koelcontainer bovengronds worden gebracht en daar op een chassis worden gezet of de koelcontainer wordt door de bovenloopkraan op een chassis gezet. Een terminal trekker rijdt met dit chassis naar de laadstations. Er zijn dus twee mogelijkheden:

- a) De koelcontainer wordt bovengronds gehaald en op een trailer gezet. Deze mogelijkheid kan bijvoorbeeld worden toegepast bij het liftconcept of bij het openingconcept. De trailer en terminaltrekker zullen dan over een soort interne baan naar de laad- en losstations van het distributiecentrum moeten rijden, zodat de koelcontainer niet de terminal af gaat. Het stroomschema staat weergegeven in figuur 6.6.
- b) De koelcontainer wordt ondergronds door de bovenloopkraan op een trailer gezet. In dit geval moet de opslag dicht bij de laadstations uitkomen, zodat de transportafstand ondergronds klein blijft. Ook kan gedacht worden aan het rijbaanconcept. De koelcontainer wordt dan op een trailer gezet en deze wordt dan bovengronds gereden naar de laad- en losstations van het distributiecentrum (ook weer over een interne baan). Het stroomschema staat weergegeven in figuur 6.7.

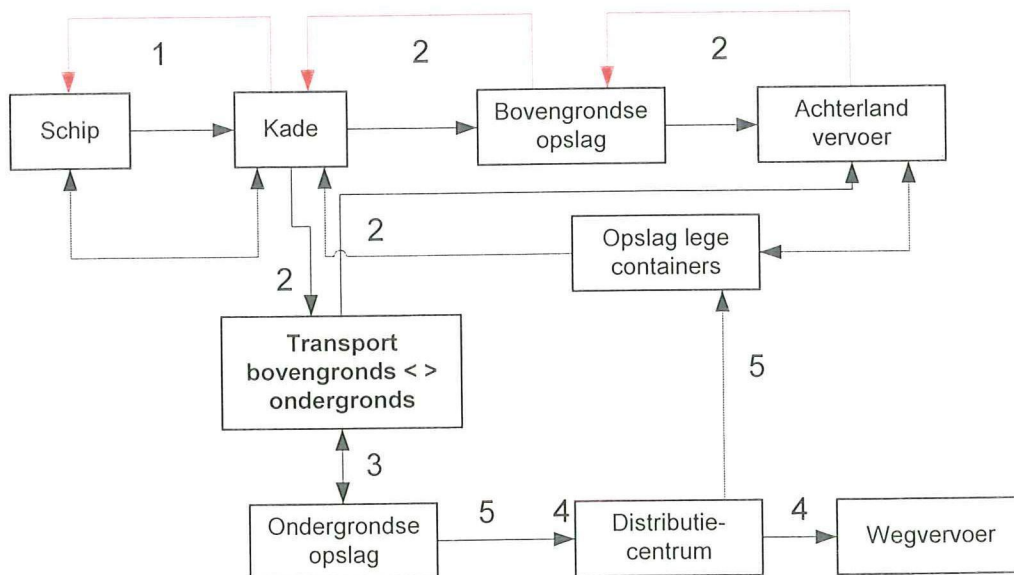
Er zullen nu meer laadstations nodig zijn om de koelcontainers te laden en te lossen, maar het laden en lossen is nu wel op 1 plaats geconcentreerd, waardoor het rijden met vorkhef trucks efficiënter kan worden ingedeeld.

De koelcontainers worden bij de laadstations uitgeladen en als deze leeg zijn, kunnen ze naar de opslag voor lege containers worden gebracht.

In de figuren 6.2 t/m 6.5, waar de stroomdiagrammen voor de concepten staan, is van de eerste logistieke variant voor het distributiecentrum uitgegaan. Bij deze logistieke variant, dus waar de koelcontainers op een chassis worden gezet, verandert het stroomdiagram enigszins en deze staan weergegeven in de figuren 6.6 en 6.7.



Figuur 6.6: stroomschema variant 2a met chassis.



Figuur 6.7: stroomschema variant 2b met chassis

6.8 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn een aantal logistieke concepten en varianten ontwikkeld voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum. Logistiek gezien zijn er veel mogelijkheden voor de wijze van transporteren en de wijze van overslaan van de koelcontainers. Door de aannames die eerder in het onderzoek zijn gemaakt vielen er een aantal logistieke mogelijkheden af. Uiteindelijk zijn er 3 concepten ontwikkeld, die genoemd zijn naar de wijze van ondergronds brengen van de koelcontainers, te weten: het liftconcept, het rijbaanconcept en het openingconcept. Elk concept heeft voordelen en nadelen die in het volgende hoofdstuk zullen worden afgewogen tegen elkaar. Bij alle drie de concepten kan zowel van een AGV als van een ALV of een lage straddle carrier gebruik worden gemaakt. Vanwege de geringe energiebesparing van koelcontainers ondergronds is ook nog gekeken naar andere varianten, waarbij de koelcontainers niet ondergronds worden opgeslagen, maar bovengronds en afgeschermd van de wind en de zon. Hoewel in eerste instantie zal worden uitgegaan van een ondergronds concept zal deze variant ook worden meegenomen in de afweging naar het meest geschikte concept.

Voor het distributiecentrum zijn 2 varianten ontwikkeld: de koelcontainer gaat direct vanuit de opslag uitgeladen of de koelcontainer wordt eerst op een chassis gezet en wordt vervolgens naar een laad- en losstation gebracht om te worden gelost.

7 Afweging concepten en varianten

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de concepten die in hoofdstuk 6 ontwikkeld zijn worden getoetst aan een aantal criteria. Deze toetsing zal vooral van kwalitatieve aard zijn. Dit houdt in dat de concepten met elkaar zullen worden vergeleken en de beste wordt gekozen. Het gekozen concept zal vervolgens in het volgende hoofdstuk verder worden gekwantificeerd. In paragraaf 7.2 worden de criteria opgesteld waaraan de concepten zullen worden getoetst. Deze criteria worden omschreven en er wordt uitleg gegeven waarom deze criteria van belang zijn. In paragraaf 7.3 worden de concepten getoetst aan de opgestelde criteria. In paragraaf 7.4 wordt vervolgens een keuze gemaakt welk concept het meest kansrijk is en verder zal worden uitgewerkt. Tot slot wordt in hoofdstuk 7.5 een keuze gemaakt uit de logistieke varianten voor het distributiecentrum.

7.2 Toetsingscriteria

Constructiekosten

Het eerste criterium waaraan de concepten getoetst zullen worden zijn de constructiekosten. De constructiekosten zijn de kosten van aanleg. In dit stadium van het onderzoek is het nog erg moeilijk een goede schatting te maken van deze kosten. Daarom zal bij dit criterium niet zo zeer worden gekeken naar de nominale kosten, maar meer naar de verschillen in kosten onderling.

Ruimtegebruik

Een ander belangrijk criterium is het meervoudig ruimtegebruik. Bij elk concept zal worden gekeken naar het ruimtegebruik op de terminal. Dit criterium is uiteindelijk ook in kosten uit te drukken. Een betere benutting van de ruimte kan leiden tot een besparing op de totale aanlegkosten, doordat er minder ruimte nodig is.

Materieel

Bij de ontwikkelde concepten zijn er verscheidene mogelijkheden voor het te gebruiken materieel. Toch zijn er bij de concepten een aantal verschillen te constateren. Er zal gekeken worden naar het ondergronds en bovengronds gebruik van materieel. Ook dit criterium heeft met kosten te maken.

Logistieke proces

Het logistieke proces op een terminal is afhankelijk van het materieel dat gebruikt wordt op de terminal. Door de ondergrondse opslag zal er logistiek wat veranderen ten opzichte van een terminal zonder ondergrondse opslag. De veranderingen van elk concept zullen worden getoetst, waarbij er vanuit wordt gegaan dat het ondergronds brengen van de koelcontainer geen of weinig invloed mag hebben op het normale proces.

Werkbaarheid

De werkbaarheid ondergronds is, zoals in hoofdstuk 4 al naar voren kwam, ook van belang. Er zal onder andere worden getoetst aan de mogelijkheden om te automatiseren en de mogelijkheden voor lichtinval.

Wateroverlast

Wateroverlast is de overlast van regenwater of sneeuw in de ondergrondse ruimte. Het regenwater of grondwater wat in de ondergrondse opslag komt moet worden afgevoerd of weggepompt. Er zal getoetst worden in hoeverre wateroverlast kan optreden bij de ontwikkelde concepten.

7.3 Toetsing concepten

De drie concepten die in het vorige hoofdstuk zijn ontwikkeld en de variant waarbij de koelcontainers bovengronds worden opgeslagen boven het distributiecentrum zullen nu worden getoetst aan de criteria die in de vorige paragraaf zijn opgesteld. Uiteindelijk zal de toetsing worden samengevat in een scoretabel waarbij de volgende score wordt gehanteerd:

- + : positief
- 0 : neutraal
- - : negatief

De scores die worden gegeven volgen uit de redenering bij elk criterium. De scores die worden gegeven zijn scores van de concepten ten opzichte van elkaar.

Constructiekosten

De constructiekosten of de kosten van aanleg zullen meer zijn bij een terminal met een ondergrondse opslag dan bij een terminal zonder ondergrondse opslag. Als er vanuit wordt gegaan dat het ondergronds opslag- en distributiecentrum bij alle concepten even groot is, kan worden gezegd dat het rijbaanconcept het duurste concept is, als alleen wordt gekeken naar de constructiekosten. Na het rijbaanconcept is het liftconcept het duurste en van de ondergrondse concepten is het openingsconcept het goedkoopst. De variant waarbij de opslag bovengronds is, is het goedkoopst.

Bij het rijbaanconcept moet er een extra rijbaan onder een helling worden gemaakt. Bij een diepte van 10 meter onder het maaiveld van de ondergrondse opslag en een hellingspercentage van 4 of 5 procent wordt deze helling ongeveer 200 meter lang. Hierdoor is er onder andere meer constructiemateriaal nodig en moeten er meer verticale wanden worden geconstrueerd.

De liften bij het liftconcept zijn een grotere investering dan de opening in de grond bij het openingconcept. Er zullen meerdere liften moeten worden toegepast om de bereikbaarheid te garanderen.

De variant met de bovengrondse opslag en het ondergrondse distributiecentrum is wat constructiekosten betreft het goedkoopste. Er hoeven minder hectaren ondergronds te worden aangelegd.

Ruimtegebruik

Bij een terminal met een ondergrondse opslag wordt de ruimte intensiever gebruikt en is er minder ruimte nodig voor de gehele terminal. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot een besparing in de huurkosten van een terrein.

De concepten waarbij gebruik wordt gemaakt van een lift en een opening in de grond scoren hier het beste. Er wordt optimaal gebruik gemaakt van de ruimte. De wijze van ondergronds brengen van de koelcontainer neemt niet veel ruimte in beslag.

Bij het rijbaanconcept wordt in principe de ruimte ook meervoudig gebruikt. De rijbaan neemt echter veel ruimte in beslag en ter plaatse van de rijbaan kan de grond niet dubbel gebruikt worden.

De variant met de bovengrondse opslag zal vrijwel helemaal geen ruimtebesparing opleveren op de containerterminal. De enige winst ten opzichte van een terminal zonder distributiecentrum, zou een kortere verblijftijd van de koelcontainers kunnen zijn en dus een kleinere opslag voor de koelcontainers.

Materieel

De wijze van ondergronds brengen en de ondergrondse opslag van koelcontainers in het algemeen stellen extra eisen aan het materieel op de terminal.

Bij het liftconcept wordt de eis gesteld dat het materieel dat ondergronds gaat, ook elektrisch moet kunnen rijden. Dit geldt als er gebruik wordt gemaakt van een AGV. Voor een ALV of lage straddle carrier geldt dat deze niet hoeven worden aangepast.

Bij het rijbaanconcept rijden de bovengrondse voertuigen voor het interne vervoer zowel bovengronds als ondergronds. Bij dit concept geldt niet alleen de eis dat zowel de AGV als de ALV of de lage straddle carrier elektrisch moeten zijn, maar ook dat ze een helling van 4 à 5 procent kunnen oprijden met een volle container. Deze voertuigen zullen een extra vermogen nodig hebben om deze helling op te kunnen rijden. Als alle voertuigen voor het interne vervoer dit extra vermogen moet hebben, kunnen de kosten erg hoog oplopen. Bij het openingconcept blijft het bovengrondse materieel gescheiden van het ondergrondse materieel. Er hoeven dus geen extra maatregelen getroffen te worden betreft het elektrisch rijden en extra vermogen. Wel moet het materieel dat de container laat zakken, worden uitgerust met langere kabels dan normaal om de koelcontainer dieper te laten zakken. Om slingeren tegen te gaan kan er een geleidingssysteem worden gemaakt om de container te laten zakken.

Ook voor de variant met de bovengrondse opslag en het ondergrondse distributiecentrum moet het materieel, in dit geval een OBC, worden uitgerust met langere kabels.

Logistieke proces

De 3 verschillende concepten hebben invloed op het logistieke proces op de terminal. De normale gang van zaken op de containerterminal mag door de toevoeging van de ondergrondse opslag voor koelcontainers niet verstoord worden. Voor alle drie de concepten en voor de bovengrondse variant geldt dat het materieel voor het interne transport zowel de koelcontainers als de gewone containers vervoert. Bovengronds wordt het proces dus niet gescheiden. Het proces wordt pas gescheiden bij de plaats waar de containers ondergronds worden gebracht.

Bij het liftconcept moeten er voldoende liften zijn om wachtrijen te voorkomen. Indien er AGV's worden gebruikt en er ontstaan wachtrijen, kan dit invloed hebben op de rest van het proces omdat er dan eventueel te weinig AGV's beschikbaar zijn bij de kadekranen. Lage straddle carriers of ALV, s zijn wat dit betreft flexibeler, omdat er een buffer opgebouwd kan worden.

Het rijbaanconcept heeft invloed op het logistieke proces doordat de rijafstanden voor de ondergrondse opslag groter worden. Er zal gemiddeld een langere rijtijd zijn in vergelijking met de andere concepten.

Bij het openingconcept waarbij gebruik wordt gemaakt van een ASC of een OBC in combinatie met een AGV is er een extra handeling vergeleken met het bovengrondse proces. De ASC of OBC moet nu de container laten zakken naar de ondergrondse opslag. Hierdoor moet alles goed op elkaar afgestemd zijn. In geval van een ALV of een lage straddle carrier die de container laat zakken, zijn er minder overslag handelingen. Er kan een buffer worden opgebouwd als men de container niet direct kan laten zakken.

Bij de bovengrondse variant wordt het proces niet beïnvloed. De koelcontainer wordt in de bovengrondse stack geplaatst. Als de koelcontainer bij het distributiecentrum kan worden uitgeladen, wordt deze door de OBC uit de opslag gehaald en kan de OBC de koelcontainer door de opening laten zakken. Er kan gedacht worden aan twee kranen in de stack om de capaciteit te vergroten.

Werkbaarheid

Belangrijke voorwaarden om ondergronds te werken zijn dat er een overmaat aan ruimte moet worden gecreëerd en dat er lichtinval is. Omdat er wordt gestreefd naar zo laag mogelijke kosten en dus een zo klein mogelijke ruimte, is dit met elkaar in strijd.

Automatisering kan een oplossing zijn, alsmede het beperken van de ondergrondse handelingen. Alle drie de concepten kunnen in principe geautomatiseerd worden.

Bij het liftconcept is de ruimte helemaal afgesloten van de omgeving. Er zullen extra voorzieningen moeten worden getroffen om lichtinval te bewerkstelligen. Automatisering kan hier wel plaatsvinden. Er kan zelfs gedacht kan worden om de gehele ondergrondse ruimte te vriezen of te koelen. Dit is bij dit concept goed mogelijk omdat hier de ondergrondse ruimte goed af te sluiten is. Er kan dan volledig worden geautomatiseerd worden, maar er moeten dan wel extra eisen aan het materieel worden gesteld.

Bij het rijbaanconcept en het openingconcept zijn er meer mogelijkheden voor lichtinval. De ondergrondse ruimte bij deze concepten is niet volledig afgesloten, waardoor er lichtinval mogelijk is. De hoeveelheid zal naar alle waarschijnlijkheid niet genoeg zijn om aan de eisen voor lichtinval te voldoen. Het volledig automatiseren bij een gekoelde of gevroren opslag voor koelcontainers is in principe mogelijk, als er een soort deur is die snel en automatisch geopend en gesloten kan worden.

De bovengrondse variant heeft geen problemen ten aanzien van de werkbaarheid. Voor de werkbaarheid in het distributiecentrum gelden voor alle vier de mogelijkheden dezelfde aspecten.

Wateroverlast

Het laatste aspect waaraan wordt getoetst is de wateroverlast die kan optreden in de ondergrondse ruimte. Er wordt aangenomen dat de wateroverlast door lekkages verwaarloosbaar klein is. Door regen of sneeuw kan wel aanzienlijke wateroverlast optreden. Bij het liftconcept zal deze wateroverlast niet aanwezig zijn. De ruimte is volledig afgesloten. Het rijbaanconcept en het openingconcept kunnen wel last hebben van wateroverlast. Bij het rijbaanconcept kan er via de helling veel water naar beneden stromen en bij het openingconcept kan het inregenen door de opening. In het laatste geval kan er een soort afdak boven de opening worden gemaakt of er kunnen roldeuren of luiken worden aangebracht die snel kunnen openen en sluiten. In het geval van het rijbaanconcept zal het water moeten worden weggepompt.

Bij de bovengrondse opslag zal geen waterlast optreden. Er wordt wel gebruik gemaakt van een opening in de ondergrond, maar de dakconstructie om de zon weg te nemen kan ook de regen tegenhouden.

7.4 Keuze van het meest geschikte concept

In de vorige paragraaf zijn de concepten getoetst aan de aspecten. Hieronder wordt in tabel 7.1 een samenvatting gegeven van de toetsing in de vorm van een scoretabel.

Tabel 7.1: scoretabel van de concepten

Aspecten	Liftconcept	Rijbaanconcept	Openingsconcept
Constructiekosten	-	-	0
Ruimtegebruik	+	0	+
Materieel	0	-	+
Logistiek proces	0	0	0
Werkbaarheid	-	0	0
Wateroverlast	+	-	0

De aspecten waaraan getoetst is wegen niet allemaal even zwaar. De kosten zullen veel zwaarder wegen dan aspecten zoals wateroverlast en werkbaarheid. Alle aspect zijn direct of indirect gebonden aan kosten. Het ruimtegebruik kan bijvoorbeeld in kosten worden uitgedrukt. Minder ruimtegebruik betekent bijvoorbeeld minder huur van hectares. Aanpassingen die moeten worden gedaan aan het materieel kunnen ook in kosten worden uitgedrukt. De belangrijkste aspecten zijn hier de constructiekosten, het ruimtegebruik, het logistieke proces en het materieel. Minder zwaar wegen de werkbaarheid en de wateroverlast.

In tabel 7.1 is te zien dat op de meest belangrijke aspecten vooral het openingconcept goed scoort, gevolgd door het liftconcept en het rijbaanconcept. Maar ook bij de minder zwaarwegende aspecten scoort het openingsconcept goed ten opzicht van de andere concepten. Er wordt gekozen voor het openingconcept aan de hand van de scoretabel en de genoemde voordelen en nadelen uit de vorige paragraaf. Het openingconcept biedt verschillende goede mogelijkheden om de koelcontainer ondergronds te krijgen. Bovendien zijn enkele genoemde nadelen, zoals de wateroverlast, met relatief kleine aanpassingen te verhelpen.

Voor het interne transport wordt gekozen voor ALV's in combinatie met een overhead bridge crane. Er wordt voor gekozen dat de OBC de container door een opening laat zakken. In dit geval hoeven niet alle ALV's worden aangepast met langere kabels, maar slechts een aantal OBC's. Bovendien heeft een OBC het voordeel dat er geen dynamische belasting is op het maaiveld door rijdende kranen, hetgeen minder constructieve eisen stelt aan het maaiveld en dus het dak van de ondergrondse opslag. De ALV's worden verkozen boven de AGV's omdat het logistieke proces dan eenvoudiger is. Er kunnen buffers gevormd worden, waardoor het materieel niet precies op elkaar afgestemd hoeft te worden.

Tot slot wordt nog de variant beschouwd waarbij de opslag voor koelcontainers bovengronds is en het distributiecentrum ondergronds. Bij de toetsing is deze variant van het openingsconcept steeds meegenomen en de score ten opzichte van de ondergrondse concepten is weergegeven in tabel 7.2 hieronder. Bij alle aspecten scoort deze variant goed, behalve bij het aspect ruimtegebruik. De belangrijkste reden waarom deze variant beter scoort dan de andere drie concepten is dat het hier gaat om een aantal aspecten die vooral met ondergrondse ruimtes te maken hebben. Omdat in eerste instantie toch wordt uitgegaan van een ondergronds opslag- en distributiecentrum, wordt deze variant op dit moment nog niet verder uitgewerkt. Mocht blijken dat het openingsconcept niet haalbaar is, dan kan eventueel terug worden gevallen op deze variant.

Tabel 7.2: scoretabel van de concepten

Aspecten	Bovengrondse opslag en ondergronds distributiecentrum
Constructiekosten	+
Ruimtegebruik	-
Materieel	+
Logistiek proces	+
Werkbaarheid	+
Wateroverlast	+

7.5 Keuze logistieke variant distributiecentrum

In de vorige paragraaf ging de keuze vooral over de transportwijze om de koelcontainers ondergronds en weer bovengronds te krijgen. De keuze van de logistieke variant bij het distributiecentrum staat hier niet helemaal los van, maar de keuze voor het openingsconcept wordt hier als uitgangspunt beschouwd. De logistieke varianten bij het distributiecentrum zijn in het vorige hoofdstuk ontwikkeld. Voor de volledigheid worden ze hieronder nog een keer weergegeven:

- variant 1: koelcontainer wordt door bovenloopkraan uit opslag gehaald en direct naast de opslag neergezet om uitgeladen te worden
- variant 2a: koelcontainer wordt weer bovengronds gebracht en op een chassis gezet die naar de laad- en losstations wordt getrokken door terminaltrekker.
- variant 2b: koelcontainer wordt ondergronds op chassis gezet die naar de laad- en losstations wordt getrokken door terminaltrekker.

Bij deze varianten zit het verschil vooral in wat er met de koelcontainer gebeurt voor het lossen en na het lossen. Het proces in het distributiecentrum is in principe hetzelfde. Er wordt ondergronds gekozen voor de eerste variant, waarbij de koelcontainer direct naast de opslag wordt uitgeladen. De belangrijkste reden voor deze keuze is dat de koelcontainer niet nog een keer ondergronds of bovengronds hoeft worden overgeslagen, waardoor er dus minder handelingen met de koelcontainer zijn. Bovendien neemt deze oplossing weinig ruimte in en zijn er geen dynamische belastingen van trailers en terminaltrekkers, zoals bij variant 2b wel het geval is.

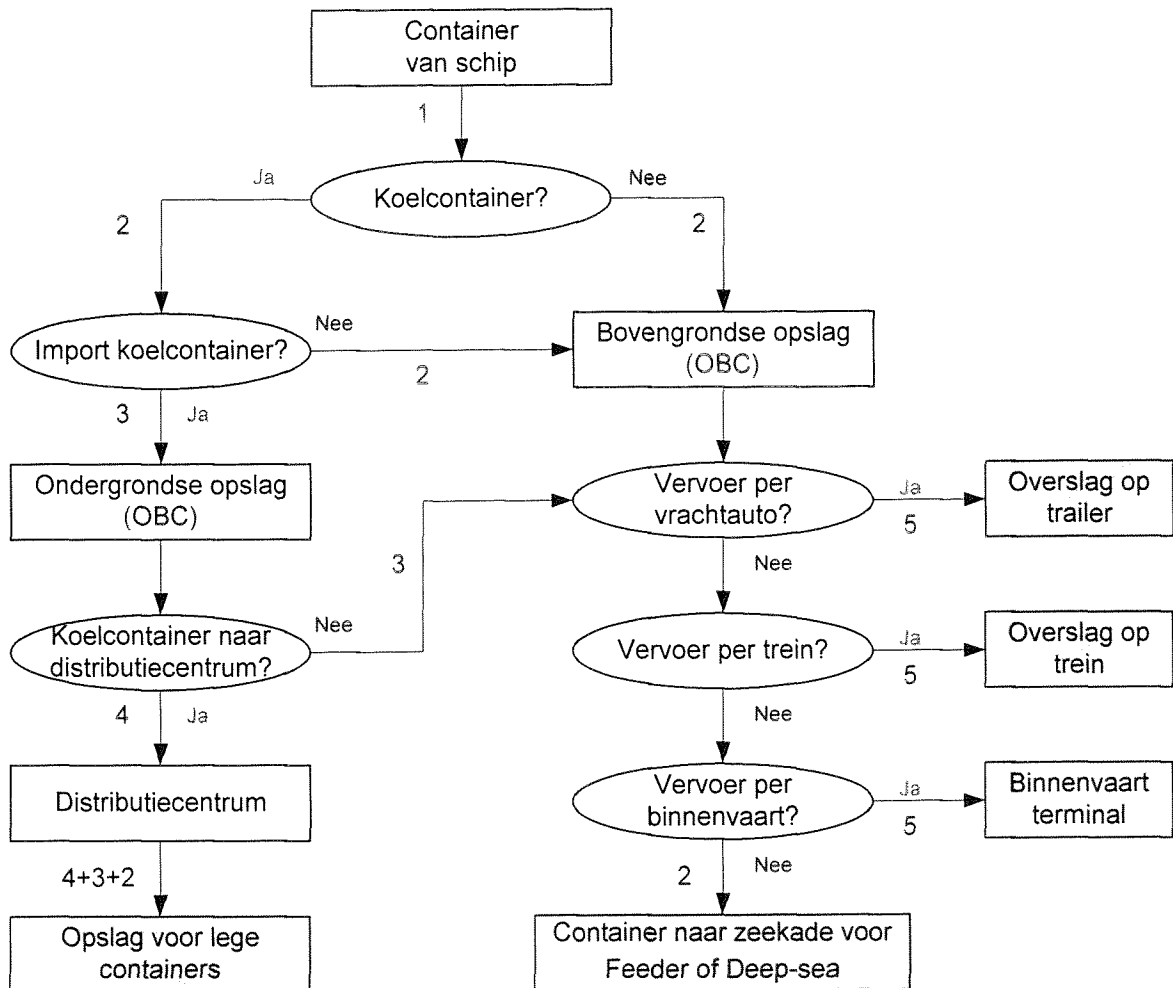
Variante 2a heeft helemaal geen extra ruimte ondergronds nodig, maar bij deze variant wordt de container nog een keer extra overgeslagen en intern getransporteerd. Er zullen bij deze variant wel meer laad- en losstations nodig zijn. Hoe de indeling er precies uit komt te zien wordt in het volgende hoofdstuk precies beschreven. Bij de conclusie van dit hoofdstuk hieronder is in figuur 7.1 een stroomschema gegeven voor containers op de terminal.

7.6 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de concepten getoetst aan de opgestelde criteria. De toetsing was vooral van kwalitatieve aard. Aan de hand van voordelen en nadelen is een scoretabel gemaakt. Uit de scoretabel kwam naar voren dat zowel de bovengrondse als de ondergrondse variant van het openingsconcept goed hebben gescoord. Het rijbaanconcept en het liftconcept hebben vooral op de belangrijke aspecten slechter gescoord. Dit is dan ook een aanleiding geweest om het openingconcept te kiezen en verder constructief uit te werken. Er wordt in het vervolg van de studie alleen gekeken naar de variant met de ondergrondse opslag voor koelcontainers in combinatie met het distributiecentrum. Hierbij wordt gebruik gemaakt van ALV's voor het interne transport en OBC's voor de bovengrondse opslag. De variant met het openingsconcept waarbij de containers bovengronds worden opgeslagen boven het distributiecentrum wordt voorlopig buiten beschouwing gelaten. Hierop kan later worden teruggekomen indien het gekozen concept niet haalbaar blijkt te zijn.

Voor de ondergrondse afhandeling van koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan, is gekozen om de containers direct naast de ondergrondse opslag te lossen en weer bovengronds te brengen.

Tot slot van dit hoofdstuk staat in figuur 7.1 een stroomdiagram weergegeven voor een van zee komende container. Aan de hand van een soort keuzemenu kan worden gekeken waar de betreffende container uiteindelijk heen gaat. Hierbij wordt de wijze van transport ook aangegeven.



- 1: Kadekraan zet container op kade
- 2: Intern vervoer bovengronds met ALV
- 3: Transport bovengronds <-> ondergronds met OBC
- 4: Intern vervoer ondergronds met bovenloopkraan
- 5: Intern vervoer naar achterlandverbinding

Figuur 7.1: stroomschema voor een van zee komende container

8 Functioneel ontwerp ondergronds ruimte

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal er een functioneel ontwerp worden gemaakt voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum dat gebruik maakt van het openingsconcept. Het doel van dit functionele ontwerp is om alle interne en benodigde afmetingen te bepalen zodat er constructief kan worden verder gewerkt. In dit hoofdstuk zullen deze afmetingen worden vastgelegd en vertaald worden in een lay-out. Om deze afmetingen te bepalen zullen er nog enkele aannames moeten worden gedaan en enkele berekeningen moeten worden uitgevoerd. Allereerst wordt in paragraaf 8.2 de benodigde vrije hoogte ondergronds bepaald. Dit gebeurt voor verschillende stapelhoogtes van containers waarbij er ook rekening gehouden wordt met het ondergrondse materieel. In paragraaf 8.3 wordt de oppervlakte bepaald voor de ondergrondse opslag voor koelcontainers. Hierbij komen verschillende stapelvormen en patronen aan de orde en aan de hand hiervan worden kolomafstanden bepaald. De oppervlakte voor het distributiecentrum wordt in paragraaf 8.4 bepaald. Er wordt een keuze gemaakt voor het aantal vriescellen en voor de indeling van de palletstellingen. In paragraaf 8.5 worden de overige ruimtes ondergronds gedefinieerd. Tot slot worden in paragraaf 8.6 enkele functionele ontwerpen gegeven voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum. Deze functionele ontwerpen worden met elkaar vergeleken en er wordt een keuze gemaakt welk ontwerp het meest geschikt is.

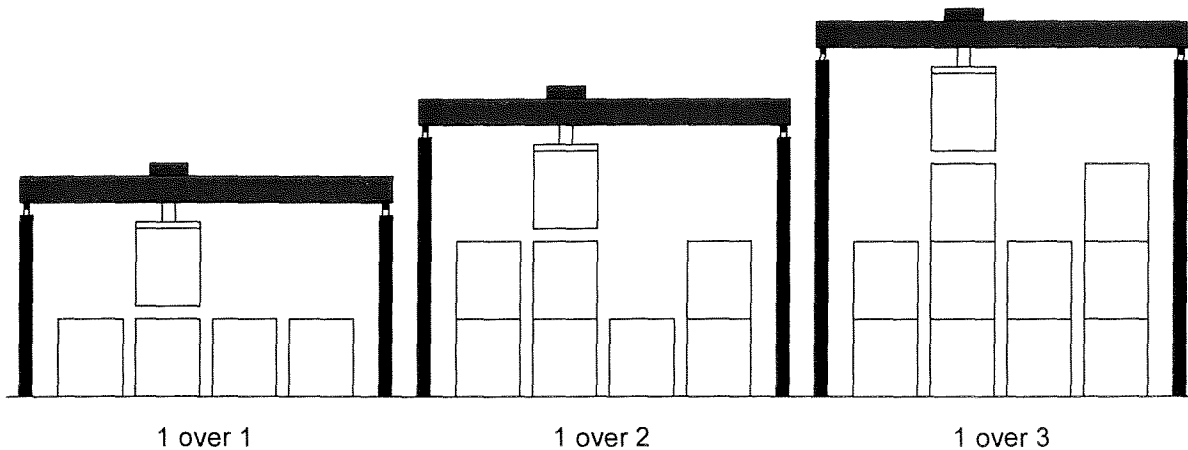
Daar het bepalen van de benodigde interne ruimte in sommige gevallen een iteratief proces is, kan er terugkoppeling plaatsvinden waardoor gedane aannames en keuzes kunnen worden bijgesteld.

8.2 Vrije hoogte ondergronds

De stapelhoogte van koelcontainers in de ondergrondse opslag en de stapelhoogte van de pallets in het distributiecentrum zijn van invloed op de benodigde interne hoogte van de ondergrondse ruimte. Daarnaast is bij de ondergrondse opslag de vrije hoogte voor de bovenloopkraan van belang. In het algemeen kan gesteld worden dat de interne hoogte ondergronds zo gering mogelijk dient te zijn, vanwege de toenemende constructiekosten bij dieper ondergronds bouwen. Hoe dieper ondergronds gebouwd wordt des te groter worden de krachten op de constructie. Echter, de totaal benodigde oppervlakte wordt wel kleiner als hoger wordt gestapeld en dus dieper wordt gebouwd. In deze paragraaf zullen achtereenvolgens de benodigde vrije hoogte voor de bovenloopkraan, de benodigde vrije hoogte voor verschillende stapelhoogtes van containers en de benodigde vrije hoogte voor verschillen stapelhoogtes van pallets worden bepaald.

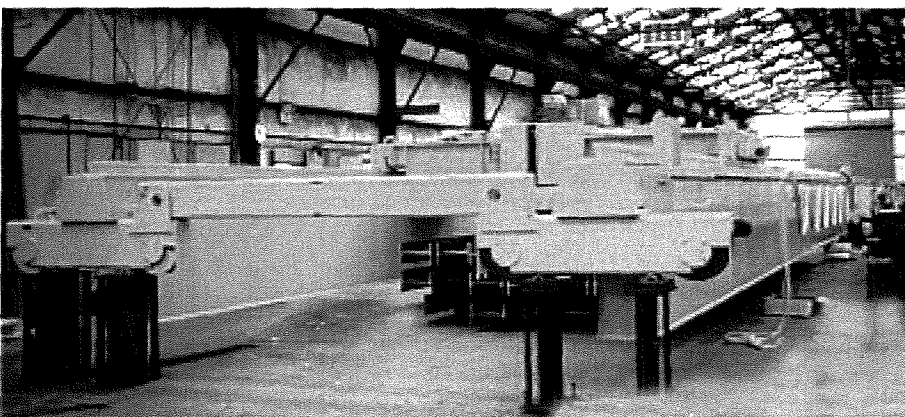
8.2.1 Bovenloopkraan

In hoofdstuk 6 is een keuze gemaakt voor een Overhead Bridge Crane (OBC), ook wel bovenloopkraan genoemd, voor de ondergrondse opslag. Een stack met een OBC heeft als eigenschap dat de containers over de opslag heen vervoerd worden. Dit betekent dat er boven de stack nog ruimte moet zijn om 1 container te transporteren met de OBC, zie ook figuur 8.1. Dit houdt in dat bij één, twee en drie hoog stapelen rekening gehouden moet worden met de hoogte van respectievelijk twee, drie en vier containers.



Figuur 8.1: stapelhoogtes containers 1 over 1, 1 over 2 en 1 over 3

Bij een OBC met een capaciteit van 40 ton en een overspanning van 13 tot 15 meter moet rekening worden gehouden met een vrije hoogte van ongeveer 2,5 meter inclusief trolley en spreader^(I,II,III,IV,V,VI). Een type OBC wat hiervoor in aanmerking komt is een "top running double girder crane", een afbeelding van dit type kraan staat in figuur 8.2 en in figuur 8.3. Figuur 8.2 laat een OBC zijn met een capaciteit van 50 ton. Deze is echter niet specifiek voor containers. Figuur 8.3 laat een OBC zijn die wel gebruikt wordt voor containers. De bovenloopkraan rijdt op rails en deze rails is gemonteerd op een stalen profiel. Dit stalen profiel rust op consoles. Dit zijn uitkragingen in de kolommen (zie figuur 8.5) De afmetingen van het stalen profiel hangen onder andere af van de overspanning en de belastingen die erop werken. De belastingen die op het stalen profiel werken zijn het eigengewicht van de kraan en de container die aan de kraan hangt. Belangrijk is dat de kraanbaan en het stalen profiel niet aan zakking en/of doorbuiging onderhevig zijn. Voor deze toepassing van de bovenloopkraan kan een speciale kraan worden ontworpen waarbij de totale hoogte wordt geminimaliseerd. In dit onderzoek wordt er echter uitgegaan van een bepaalde totale hoogte, die verderop nog zal worden uitgesplitst. De totale hoogte voor de bovenloopkraan bestaat uit de hoogte voor de consoles, de hoogte van het stalen profiel en de hoogte van de kraan zelf, inclusief de trolley. Door correspondentie met meerdere bedrijven en ontwerpers is een beeld gekregen van de hoogte van dit soort type kranen. Voor de hoogte van de consoles, het stalen profiel en de kraan zelf wordt voorlopig een hoogte aangehouden van 2,5 meter. Deze hoogte zal later nog worden gespecificeerd



Figuur 8.2: top running double girder crane met een capaciteit van 50 ton



Figuur 8.3: double girder crane met een capaciteit van 20 ton specifiek voor containers

8.2.2 Stapelhoogte koelcontainers ondergronds

Eerder was er voorlopig van uitgegaan dat de koelcontainers ondergronds 2 hoog werden gestapeld. In hoofdstuk 5 kwam al naar voren dat de koelcontainer ondergronds één, twee of drie hoog kunnen worden gestapeld. De vrije ruimte voor de koelcontainers zou dan respectievelijk twee, drie of vier containers hoog moeten zijn, vanwege het opslagsysteem wat wordt gehanteerd (zie ook figuur 8.1). De meest voorkomende koelcontainers zijn de 40 voet High Cube (HC) containers. Deze containers zijn 9'6" hoog, wat neer komt op ongeveer 2,95 meter. Voor de container die over de andere containers heen wordt getransporteerd, wordt een speling aangehouden van 20 centimeter.

In tabel 8.1 staat per stapelhoogte de minimaal benodigde verticale ruimte voor alleen de koelcontainers. Te zien is dat bij een toenemende stapelhoogte de totale oppervlakte van de ondergrondse opslag afneemt. Deze oppervlakte is bepaald aan de hand van de methode gebruikt in hoofdstuk 5 en bijlage IV. Later in dit hoofdstuk wordt een keuze gemaakt voor de stapelhoogte.

Tabel 8.1: vrije ruimte voor alleen containers

Stapelhoogte ondergronds	1	2	3
Hoogte gestapelde containers	2,95	5,90	8,85 m
Extra hoogte 1 container	3,15	3,15	3,15 m
Totale minimale vrije hoogte koelcontainers	6,10	9,05	12,00 m
Empirische factor ⁽²¹⁾	35	22	14 m ² /TEU
Benodigde opp. Koelcontainers ondergronds	3,71	2,33	1,49 ha.

8.2.3 Stapelhoogte pallets

In de vorige paragraaf is de minimaal benodigde hoogte voor de koelcontainers bij verschillende stapelhoogtes bepaald. Daar moet de vrije hoogte voor de bovenloopkraan nog bij worden opgeteld.

De stapelhoogte bij pallets is enigszins flexibeler omdat pallets kleinere afmetingen en hoogtes hebben. Aan de stapelhoogte bij pallets kan wel een maximum worden opgelegd, omdat gewone vorkhef trucks een beperking hebben in het hoog wegzetten van pallets in stellingen. In veel distributiecentra worden de pallets in stellingen 4 à 5 hoog worden gestapeld, afhankelijk van de hoogte van de pallets. Dit komt neer op een totale interne vrije hoogte van 8 tot 10 meter. Dit kan als maximum worden gezien. De pallethoogte varieert dan tussen de 1,2 meter en de 2,1 meter, afhankelijk van de lading. Er kan voor gekozen worden de vrije hoogte van het distributiecentrum aan te passen op de ondergrondse opslag voor koelcontainers indien deze opslag minder dan 10 meter diep is, of de vrije hoogte optimaliseren op de pallets indien de opslag voor koelcontainers dieper dan 10 meter is. De keuze hangt dus af van de stapelhoogte voor de koelcontainers.

8.3 Oppervlakte ondergrondse opslag voor koelcontainers

De oppervlakte van de ondergrondse opslag is bij 2 hoog stapelen grofweg bepaald op 2,33 hectare. Deze oppervlakte is inclusief ruimte voor het materieel. Hieronder zal de precieze oppervlakte worden bepaald voor de ondergrondse opslag voor koelcontainers. Hierbij wordt gekeken naar hoe de containers worden weggezet in de ondergrondse opslag, naar de benodigde ruimte voor het ondergronds en bovengronds brengen van de koelcontainers en naar de wijze van het ondergronds transport. Hiervoor zijn in het vorige hoofdstuk een aantal keuzes gemaakt.

8.3.1 Vrije ruimte voor containers ondergronds

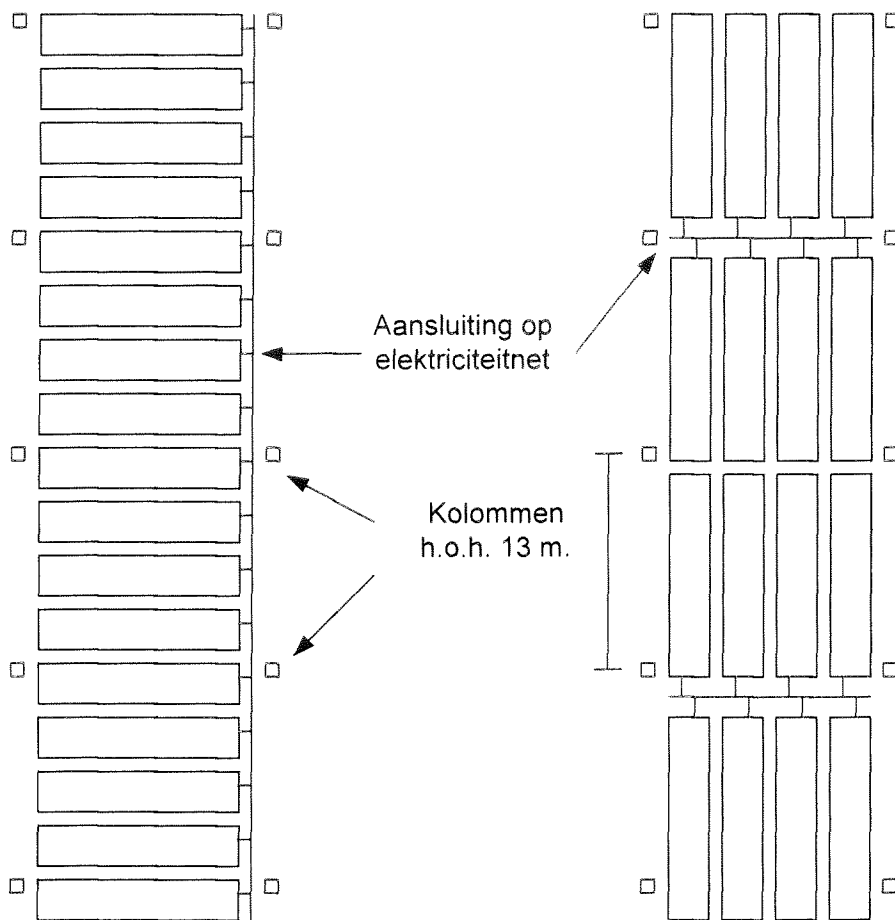
Bij de opslag van de koelcontainers ondergronds moet ook rekening worden gehouden met constructieve aspecten. Vanwege de grote bovenbelasting op het dak van de ondergrondse opslag, kan de overspanning tussen de kolommen ondergronds niet al te groot worden. Een overspanning van 10 tot 15 meter is echter goed haalbaar. De kolomafstand is echter ook weer afhankelijk van de afmetingen van de containers. Er zijn nu twee soorten patronen denkbaar, zie figuur 8.4.

De hart op hart afstand van koelcontainers in de breedterichting van de container wordt aangehouden op 2,85 meter (breedte is 2,45 meter) en de hart op hart afstand in de lengterichting van de container wordt aangehouden op 14 meter (lengte is 12,2 meter). De extra ruimte in de lengte is onder andere voor de aansluiting op het elektriciteitsnet en de deuren die open moeten kunnen worden gemaakt.

Indien de koelcontainers dwars worden neergezet, zoals in het linker plaatje van figuur 8.4, bedraagt de minimale vrije ruimte dus 14 meter. Dit zou in dit geval nog kunnen worden teruggebracht tot 13 meter, daar er ook nog vrije ruimte is onder de consoles, voor het openen van de deur en de aansluiting op het elektriciteitsnet. Indien de koelcontainers in de lengterichting worden neergezet, zoals in het rechter plaatje van figuur 8.4, hangt de vrije ruimte af van het aantal containers dat naast elkaar wordt gezet. In de tabel hieronder is de minimale ruimte gegeven voor verschillende breedtes van de stack.

Tabel 8.2: breedte ondergrondse opslag

Aantal containers naast elkaar	Breedte stack (m)
2	5,70
3	8,55
4	11,40
5	14,25
6	17,10

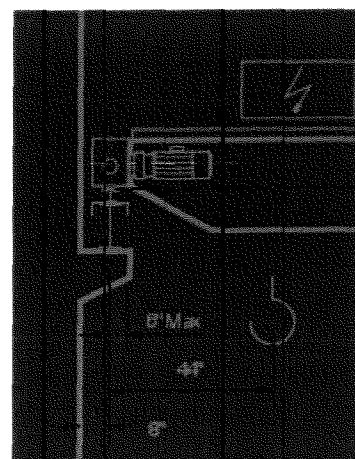


Figuur 8.4: indeling containers ondergronds tussen kolommen

Een overspanning van 10 tot 15 meter is goed haalbaar met de bovenbelasting die op het dak van de constructie werkt. Er wordt gekozen om 4 containers naast elkaar te zetten, en er is dus een minimale ruimte voor de containers nodig van 11,4 meter. Naast deze vrije ruimte voor de containers is er ook nog vrije ruimte nodig voor de consoles, waarop de kraanbaan van de bovenloopkraan rust. De vrije ruimte voor de containers plus de ruimte voor de consoles bepalen de overspanning tussen de twee kolommen in 1 richting.

8.3.2 Vrije ruimte voor consoles

Een console is een plaatselijke uitkraging aan een kolom of aan een wand, zie figuur 8.5. Deze uitkraging dient hier om de kraanbaan van de bovenloopkraan te dragen. De breedte van de console hangt onder andere af van de breedte van de kraanbaan en de benodigde breedte om de kracht van de bovenloopkraan te kunnen opvangen. Uit tabellen voor stalen profielen, bijvoorbeeld warmgewalste HEA profielen of IPE-profielen, volgt dat deze profielen vaak niet breder zijn dan 300 mm. Voor de totale breedte van de console wordt in eerste instantie uitgegaan van 400 mm. Later bij de constructieve berekening zal worden nagegaan of deze grootte ook constructief groot genoeg is om de krachten op te nemen.



Figuur 8.5: uitkraging of console voor OBC

8.3.3 Indeling stacks en grootte stacks

Om de indeling en de grootte van de stacks te bepalen moet er eerst worden nagegaan hoeveel containers er in de opslag moeten kunnen staan. Voor de containers die naar het distributiecentrum gaan, kan dit als volgt worden berekend:

$$N_{opslag} = \frac{29700 \cdot 1}{300} \cdot 1,5 = 149 \text{ TEU}$$

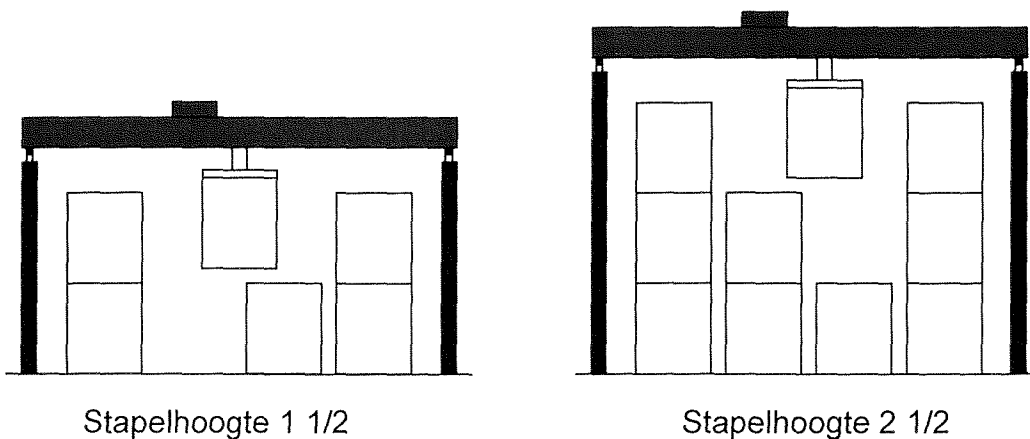
En voor de containers die niet naar het distributiecentrum gaan:

$$N_{opslag} = \frac{69300 \cdot 3}{365} \cdot 1,5 = 854 \text{ TEU}$$

Deze berekening is verder volledig uitgevoerd in bijlage IV, waarbij ook de getallen zijn onderbouwd. Uit deze berekening volgt dus dat er ongeveer 1000 TEU in de ondergrondse opslag moet kunnen staan, rekening houdend met een piekfactor van 1,5. Dit zijn ongeveer 500 koelcontainers en dus ook 500 reeferaansluitingen. De piekfactor dient om fluctuaties in de aanvoer en afvoer op te vangen. De piekfactor kan vertaald worden naar een gemiddelde bezettingsgraad van ongeveer 0,8 en een verhouding gemiddelde stapelhoogte/ nominale stapelhoogte van ongeveer 0,9.

Er was aangenomen dat een ondergrondse stack 4 containers breed is. De lengte van de stack wordt zo groot mogelijk gemaakt, zodat er minder bovenloopkranen nodig zijn. In de bovengrondse opslag staan 16 containers h.o.h 13 meter achter elkaar, hetgeen inclusief de overslagpunten neerkomt op ongeveer 250 meter. De ondergrondse opslag ligt direct onder de bovengrondse opslag. Aan beide zijden van de opslag moet er ruimte worden gereserveerd voor de openingen. Omdat de koelcontainers iets meer ruimte innemen dan de gewone containers bovengronds, kunnen er nu ondergronds twaalf 40' containers achter elkaar worden gezet. De oppervlakte van 1 stacking lane (= 1 stack) wordt nu $(12 \cdot 14 + 2 \cdot 20) \cdot (11,4 + 2 \cdot 0,4) = 2340 \text{ m}^2$, inclusief de ruimte voor de openingen waar het transport van bovengrond naar ondergronds (en omgekeerd) plaats vindt.

Afhankelijk van de stapelhoogte kunnen er een bepaalde hoeveelheid koelcontainers in één stacking lane. Als er hoger wordt gestapeld kunnen er meer containers in één stacking lane en hoe minder er van deze stacks nodig zijn. Dit is te zien in tabel 8.3. Omdat de bovenloopkraan relatief veel vrije ruimte inneemt en deze ruimte in de ondergrondse opslag voor koelcontainers niet nuttig kan worden gebruikt, wordt gedacht aan andere stapelvorm in de ondergrondse opslag. Deze stapelvorm staat afgebeeld in figuur 8.6.



Figuur 8.6: nieuwe stapelvormen, 1½ en 2½ hoog.

In het eerste geval wordt er uitgegaan van 2 hoog stapelen (figuur 8.6, links). De middelste 2 containers van de bovenste rij worden echter niet gestapeld, zodat er in 1 rij maar 6 containers kunnen in plaats van 8 containers, maar er hoeft nu minder vrije ruimte boven de opslag te zijn, om precies te zijn 1 containerhoogte minder. Dit kan over de gehele opslag aanzienlijk schelen. Er is wel iets meer ruimte nodig om de containers op te slaan, maar dit weegt niet op tegen de volumebesparing ondergronds. Deze stapelvorm wordt nu stapelhoogte 1½ genoemd.

In het tweede geval wordt er uitgegaan van 3 hoog stapelen (figuur 8.6, rechts). Ook hier worden de middelste 2 containers van de bovenste 4 containers niet gestapeld. In plaats van 12 containers in één rij, kunnen er nu maar 10 containers in één rij. Deze stapelvorm wordt stapelhoogte 2½ genoemd.

De verschillen met 1, 2 en 3 hoog stapelen staan weergegeven in tabel 8.3.

Tabel 8.3: aantal benodigde stacks bij verschillende stapelhoogtes

Stapelhoogte	Aantal TEU in 1 stack	Aantal stacks	Benodigde oppervlakte	Hoogte	Volume
1	96	11	25740 m ²	8,60 m	221364 m ³
2	192	6	14040 m ²	11,55 m	162162 m ³
3	288	4	9360 m ²	14,50 m	135720 m ³
1 ½	144	7	16380 m ²	8,60 m	140868 m ³
2 ½	240	5	11700 m ²	11,55 m	135135 m ³

Er is afgerond op hele stacks, waardoor er bij sommige stapelhoogtes een grotere capaciteit is dan 1000 TEU. In de tabel is te zien dat de stapelhoogtes 1½ en 2½ het goed doen wat het ondergronds volume betreft. De ruimte ondergronds wordt nu effectiever gebruikt. Deze stapelhoogtes zullen worden meegenomen in de afweging voor de ondergrondse stapelhoogte van koelcontainers.

8.3.4 Kolomafstanden ondergronds

De kolommen ondergronds dienen om het dak van de ondergrondse constructie te dragen. Doordat de bovenbelasting voornamelijk uit containers bestaat en er dus een grote bovenbelasting is, moeten de kolommen ondergronds grote krachten afvoeren naar de ondergrond.

Vaak wordt er met kolommen bij gebouwen en andere constructies in een bepaald stramien gewerkt. Dit betekent dat de kolomafstanden en dus de overspanningen overal gelijk zijn. Dit hoeft echter niet in beide richtingen hetzelfde te zijn. In het geval van deze ondergrondse constructie hangt de kolomafstand in één richting af van de hoeveelheid containers die tussen de kolommen opgeslagen worden en de daarbij behorende vrije ruimtes. Dit is de richting loodrecht op de container stacks. In de andere richting hangt de kolomafstand af van de hart op hart afstand van de containers bovengronds. Dit is de richting parallel aan de container stacks.

Kolomafstand loodrecht op de container stack

Er is gekozen voor vier containers tussen de kolommen op te slaan, onder één bovenloopkraan. De vrije ruimte die deze containers nodig hebben is 11,4 meter. Daarnaast is er nog vrije ruimte nodig voor de consoles. Er is voor consoles gekozen van 400 mm, waarmee de totale vrije ruimte tussen 2 kolommen neerkomt op 12,2 meter. Dit is de minimale overspanning in 1 richting. Voor de hart op hart afstand van de kolommen moet nog de dikte van 1 kolom worden opgeteld bij de minimale overspanning van 12,2 meter.

Kolomafstand parallel aan de container stack

De kolomafstand in deze richting hangt af van de containers bovengronds. Het eigengewicht van de containers en het gewicht van de lading in de containers wordt afgedragen via de hoekpunten van de containers. Dit betekent dat de container geen gelijkmatig verdeelde belasting levert, maar 4 geconcentreerde puntlasten. De containers bovengronds staan in dezelfde richting als de containers ondergronds. Bovengronds staan de container hart op hart 13 meter van elkaar. Omdat de krachten alleen via de hoekpunten van de container worden afgevoerd, kunnen de containers in feite op balken staan. Als uit wordt gegaan van 40' containers, dan kunnen deze balken hart op hart 13 meter uit elkaar liggen en als wordt uitgegaan van 20' containers dan moeten deze balken h.o.h 6,5 meter uit elkaar liggen. Deze balken of liggers kunnen de belasting afdragen aan de kolommen. Het is dan logische om de hart op hart afstand van de kolommen in deze richting ook op 13 meter te kiezen.

Terugkoppeling naar bovengrondse opslag

De kolomafstanden zijn in beide richtingen bepaald op hart op hart 13 meter. Dit betekent voor de bovengrondse Overhead Bridge Crane dat de hart op hart 26 meter moet bedragen om de belasting direct over te dragen aan de ondergrondse kolommen. Hiertussen kunnen maximaal 8 container staan. De aanneme die in hoofdstuk 5 is gemaakt, dat er 9 containers naast elkaar worden gezet in de bovengrondse opslag wordt nu veranderd in 8 containers. De breedte van de bovengrondse stack wordt nu 26 meter, inclusief materieel.

8.3.5 Keuze stapelhoogte

Zoals aan het begin van deze paragraaf al naar voren kwam, nemen de krachten op de wanden en vloer van de constructie toe naarmate er dieper wordt gebouwd, dit betekent dus dikkere wanden om de grotere gronddrukken op te nemen en een dikkere vloer om de waterdruk te compenseren.

De ondergrondse opslag voor koelcontainers wordt ontworpen voor 1000 TEU. Indien de containers 1 hoog worden weggezet in de ondergrondse opslag is de vrije ruimte boven de opslag naar verhouding erg groot. Als voor 1 hoog wegzetten gekozen wordt kan beter worden gedacht aan een ander opslagsysteem dat niet gebruik maakt van materieel dat 1 over 1 de containers opslaat. Te denken valt aan een soort lopende band systeem of een rail systeem.

Bij twee hoog stapelen is de vrije ruimte boven de containers relatief kleiner geworden. De totale interne hoogte komt op ongeveer 11,55 meter. De oppervlakte om de containers op te slaan is nu echter wel veel kleiner geworden. Bij drie hoog stapelen is de benodigde oppervlakte nog kleiner geworden maar de diepte van de opslag al meer dan 14 meter. Dit betekent ook dat de kolommen erg groot worden.

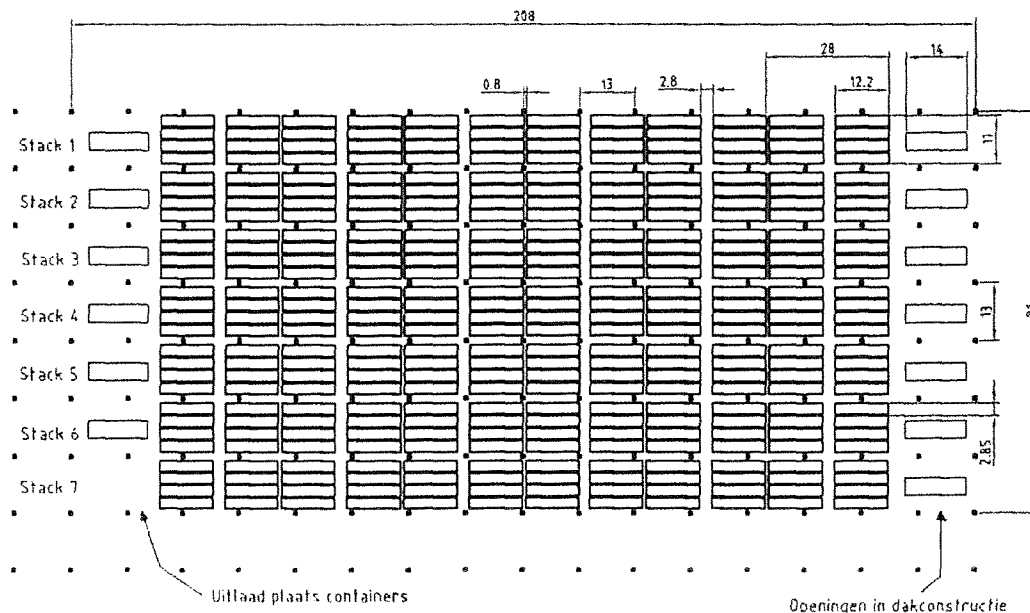
In tabel 8.3 is te zien dat het totale volume ondergronds afneemt bij een toenemende stapelhoogte. Ook het totaal aantal vierkante meter wand, vloer en dak neemt af, waardoor er minder beton nodig is. De constructiedikte wordt echter wel groter door de toenemende krachten op de constructie. Hierdoor is weer meer beton nodig. Of de besparing van het aantal m³ beton door de kleinere oppervlakte van de wanden, de vloer en het dak zal opwegen tegen de extra constructiedikte, benodigd voor het opnemen van de grotere krachten op de constructie, komt nog aan de orde bij het constructief ontwerp.

Bij een stapelhoogte van "1½" is er ten opzichte van 2 hoog stapelen maar 1 stack extra nodig, terwijl de benodigde hoogte bijna 3 meter minder is. Dit levert dus een aanzienlijke volumebesparing op. Dit zelfde geldt in iets mindere mate voor een stapelhoogte van "2½" ten opzichte van 3 hoog. Hierbij is het volume ongeveer gelijk gebleven, maar is de hoogte bijna 3 meter afgenomen, terwijl er maar 1 stack extra hoeft te worden aangelegd.

Op basis van tabel 8.3 en bovenstaande overwegingen wordt er gekozen om de containers 1½ hoog weg te zetten. De interne vrije ruimte wordt nu beperkt tot 8,6 meter. Hieronder zal de totaal benodigde oppervlakte voor de ondergrondse opslag voor koelcontainers worden bepaald.

8.3.6 Oppervlakte ondergrondse opslag

Er komen 7 stacks met een capaciteit van 144 TEU, ofwel 72 containers. De totale capaciteit van de ondergrondse opslag komt hierbij dan op 1008 TEU, of 504 containers. De stacks zijn 4 breed en 12 lang. De lengte van de stack wordt nu 168 meter, als rekening wordt gehouden met een hart op hart afstand van 14 meter. Aan beide uiteinden van de stack moet ruimte worden gereserveerd om de container te laten zakken door de ondergrondse opening. De containers kunnen dan aan beide zijden van de opslag bovengronds en ondergronds worden getransporteerd, zie figuur 8.7. De ruimte voor het bovengronds en ondergronds brengen van de containers via de opening in de grond, wordt aan beide zijden op 20 meter genomen, waardoor de totale lengte op 208 meter komt. De ruimte waar de containers verticaal worden getransporteerd door de openingen, wordt niet dubbel gebruikt.



Figuur 8.7: layout ondergrondse opslag voor koelcontainers

Stacking lane 7 is gereserveerd voor de containers die naar het distributiecentrum gaan. De containers worden daar ter plaatse neergezet om uitgeladen te worden. Het uitladen van een container duurt gemiddeld een half uur tot een uur, afhankelijk van het aantal pallets dat in de koelcontainer zit en de rijafstand van de vorkhef trucks. Bij een werkdag van 16 uur (2 ploegen) kunnen er per uitlaadplaats 20 tot 25 containers worden uitgeladen. Per dag worden er gemiddeld 50 containers uitgeladen. Dit betekent dat 3 à 4 uitlaadplaatsen voor koelcontainers voldoende zijn.

De afmetingen van de kolommen is in dit stadium nog niet bekend, waardoor de precieze totale oppervlakte nog niet kan worden berekend. Als nu grofweg wordt uitgegaan van kolommen van $800 \times 800 \text{ mm}^2$, komt de totale ruimte voor de ondergrondse opslag op: $208 \cdot 91 = 19000 \text{ m}^2 = 1,9 \text{ ha}$.

8.4 Oppervlakte opslag distributiecentrum

De oppervlakte van het distributiecentrum bestaat uit een aantal delen. In deze paragraaf wordt de oppervlakte die nodig is om de pallets op te slaan berekend. Hierbij wordt ongeveer dezelfde volgorde gehanteerd als bij de oppervlaktebepaling van de ondergrondse opslag voor koelcontainers. Eerst zal de stapelhoogte van de pallets worden bepaald en de vrije ruimte die een pallet en een palletstelling nodig hebben. Vervolgens zal de indeling van de palletstellingen worden bepaald en de gangpaden voor de vorkhef trucks, alsmede het aantal vriesloodsen.

8.4.1 Keuze stapelhoogte pallets en vrije ruimte

De interne vrije hoogte bedraagt 8,6 meter. Pallets zijn maximaal 2,1 meter hoog en gemiddeld 1,75, hetgeen betekent dat er maximaal 4 pallets hoog gestapeld kan worden. In veel distributiecentra worden de pallets maar 4 hoog gestapeld. De verticale ruimte in de ondergrondse opslag wordt nu optimaal gebruikt. Eerder is al bepaald dat de opslag in het distributiecentrum een capaciteit moet hebben van 22000 pallets. Dit houdt in dat bij 4 hoog stapelen er 5500 palletstellingen moeten komen.

De diepte van de palletstelling is slechts één pallet en bedraagt 1,35 meter. De vakgrootte, de afstand tussen de staanders kan plaats bieden aan 2 pallets van 1 of 1,2 meter breed. De totale vakgrootte wordt nu aangehouden op 2,5 meter. De breedte van het gangpad bedraagt 3 meter. Deze drie meter is nodig voor het manoeuvreren van de vorkhef trucks.

8.4.2 Indeling palletstellingen en oppervlakte cellen

De breedte van 1 gangpad en 2 palletstellingen bedraagt 5,7 meter. Tussen 2 kolommen kunnen nu 4 palletstellingen staan met 2 gangpaden. Deze breedte is nu 11,4 meter en is in beide richtingen onder de kolommen mogelijk.

In bestaande koel- en vrieshuizen zijn er over het algemeen meerdere aparte cellen. De reden hiervoor is dat veel producten hun eigen specifieke opslagtemperatuur hebben. Er wordt voor 7 verschillende cellen gekozen, waarvan 3 grote en 4 wat kleinere cellen. De grote cellen hebben een capaciteit van 1100 palletstellingen en de kleine cellen hebben een capaciteit van 550 palletstellingen.

Grote cel

Een grote cel heeft een capaciteit van 4400 pallets. Tussen 2 kolommen kunnen 4 palletstellingen in de breedte en dus 16 pallets. Er wordt naar gestreefd de cellen zo vierkant mogelijk te maken, daar dit wat tussenwanden betreft de meest economische oplossing biedt. Er wordt uitgekomen op een breedte van 5 kolomafstanden. Nu kunnen er 80 pallets in 1 rij worden weggezet en zijn er 55 rijen nodig. De afmetingen van een grote cel worden nu ongeveer $65 \times 70 \text{ m}^2$. Een mogelijke lay-out van een grote cel staat weergegeven in figuur 8.8.

Kleine cel

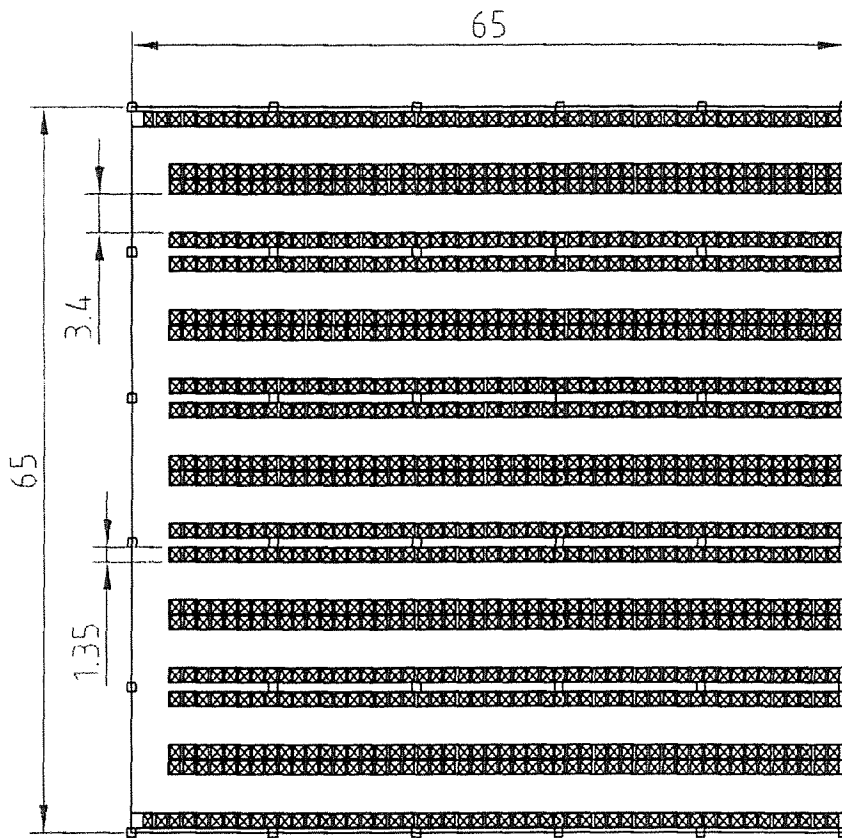
De kleine cellen hebben een capaciteit van 2200 pallets. Dit is dus de helft van de grote cel. Ook bij deze cellen wordt er naar gestreefd om de cellen zo vierkant mogelijk te maken. De breedte wordt op 3 keer een kolomafstand gehouden, waardoor er in 1 rij 48 pallets kunnen staan. Dit betekent dat er 46 palletrijen achter elkaar moeten kunnen staan. De afmetingen van een kleine cel worden nu ongeveer $39 \times 58 \text{ m}^2$. Een mogelijke lay-out van een kleine cel staat weergegeven in figuur 8.9.

Totale oppervlakte opslag distributiecentrum

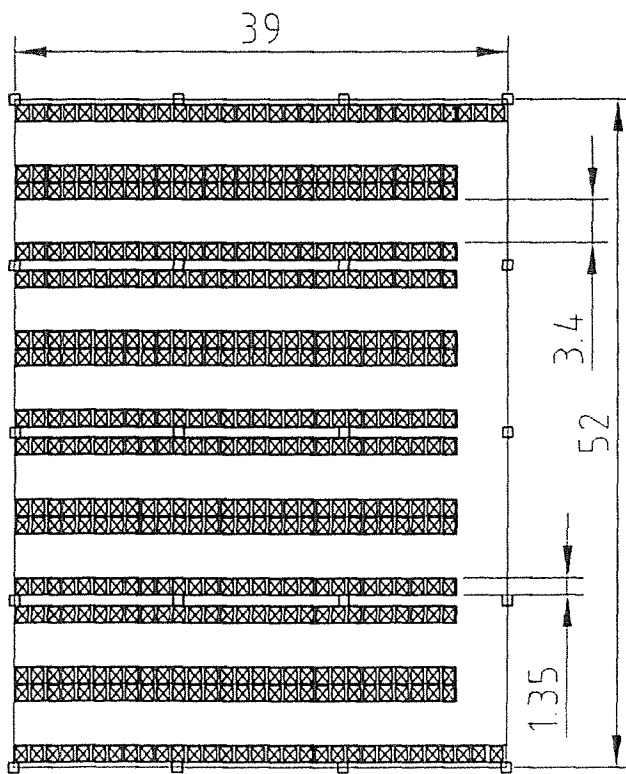
De totale oppervlakte van de opslag van de pallets in het distributiecentrum wordt nu:

$$3 \cdot 65 \cdot 70 = 13650 \text{ m}^2 \text{ voor de grote cellen en } 4 \cdot 39 \cdot 58 = 9048 \text{ m}^2 \text{ voor de kleine cellen.}$$

De totale oppervlakte voor de opslag van pallets in het distributiecentrum inclusief de gangpaden komt nu op 2,27 hectare.



Figuur 8.8: een lay-out van een grote cel in het distributiecentrum



Figuur 8.9: een lay-out van een kleine cel in het distributiecentrum

8.5 Overige ruimtes ondergronds

8.5.1 Docking stations

Docking stations zijn de laad en los plaatsen voor vrachtauto's bij een distributiecentrum, zie figuur 8.10. In dit geval worden hier de vrachtauto's geladen. De laadtijd hangt onder andere af van de hoeveelheid pallets die geladen moeten worden en of de pallets al klaar staan als de vrachtwagen arriveert. Als dat het geval is, kan een laadtijd worden genomen van een half uur. De pallets staan dan vlak bij het laadstation en de vorkhef truck hoeft maar weinig te rijden. Indien de pallets nog in de cellen staan duurt het laden een stuk langer, daar de rijtijd van de vorkhef truck nu veel groter wordt.

Op jaarbasis worden er 375.000 pallets overgeslagen. Bij het lossen werd een werkdag van 16 uur gehanteerd. Dit zal bij het laden minder mogelijk zijn, daar de transporteurs over het algemeen alleen in de ochtend en overdag werkzaam zijn. Als er nu wordt uitgegaan van een werkdag van 08:00 uur tot 18:00 uur, 300 werkdagen per jaar en een gemiddelde



Figuur 8.10: docking stations bij een distributiecentrum

beladingsgraad van 25 pallets per vrachtauto, dan komen er gemiddeld per dag 50 vrachtwagens en per uur gemiddeld 5 vrachtwagens. Bij een gemiddelde beladingsduur van 1,5 uur en een piekfactor van 1,5 voor de vrachtauto's, wordt voor 11 docking stations gekozen. Bij een breedte van 5 meter per docking station komt dit neer op een 2 docking stations tussen twee kolommen. De totale breedte van de alle docking stations komt hiermee op 75 meter.

8.5.2 Opstel ruimte en kantoren en rijbanen

In de opstelruimte kunnen pallets worden neergezet die opgehaald gaan worden. De reden dat deze pallets al uit de opslag worden gehaald is om de laadtijd van de vrachtwagen te bekorten. Voor de grootte van de opstelruimte zijn geen vaste regels. Er kan gedacht worden dat voor elke docking station 1 opstelplaats aanwezig is, in dit geval dus 11 opstelplaatsen ter grootte van bijvoorbeeld 1 oplegger van een vrachtauto.

Voor de kantoren waar vooral administratieve handelingen worden verricht en andere ruimtes zoals wachtruimtes en douane of veterinaire controles moet ook nog ruimte worden gereserveerd. De precieze bepaling van deze ruimte gaat voorbij aan dit onderzoek. Er zal een oppervlakte worden aangenomen.

Verder moet er nog ruimte voor de vorkhef trucks. Deze ruimte bestaat uit rijbanen tussen de vriescellen en de docking stations en de opslag voor de koelcontainers. In een bovengronds distributiecentrum worden vaak geen rijbanen gehanteerd en kunnen de vorkhef trucks overal rijden. Bij dit soort distributiecentra zijn er geen tot weinig kolommen. Bij dit distributiecentrum zijn er wel kolommen en om er voor te zorgen dat deze kolommen niet worden aangereden zal er over een soort rijbanen gereden moeten worden.

8.5.3 Rijbaan en opstelruimtes voor vrachtauto's

Vrachtwagens zijn inclusief truck ongeveer 18 meter lang. De vrachtwagens staan loodrecht in de docking stations en dus loodrecht op het distributiecentrum. De vrachtwagens staan in een soort betonnen bak, semi-ondergronds. Geheel ondergronds kunnen de vrachtwagens niet staan, vanwege de uitlaatgassen. De vrachtauto's rijden via een rijbaan onder een helling naar de docking stations. Hier is geen dubbel grondgebruik mogelijk. De breedte wordt op 40 meter gehouden en de lengte op 80 meter. Daarnaast moet er nog een rijbaan onder een helling komen waar de vrachtwagens over kunnen rijden.

Dit onderdeel van het distributiecentrum wordt niet verder uitgewerkt. De grens wordt getrokken bij het volledig ondergrondse gedeelte. Constructief gezien zullen er onder de bakconstructie trekpalen nodig zijn om de opwaartse waterdruk te compenseren. Daarnaast moeten er nog voorzieningen worden getroffen om overtollig regenwater af te voeren.

8.6 Functioneel ontwerp

In de vorige paragrafen zijn de oppervlaktes van alle onderdelen van de ondergrondse ruimte bepaald en berekend. In deze paragraaf is dit vertaald in een mogelijk functioneel ontwerp. Er zijn meerder functionele ontwerpen opgesteld waarbij gekeken is naar een aantal aspecten, zoals het minimaliseren van rij afstanden en het minimaliseren van de losse wanden van de vriescellen.

Het functionele ontwerp is te zien in tekening 8 van bijlage X. Van dit functioneel ontwerp wordt uitgegaan in de constructieve berekening. Hierbij kan weer terugkoppeling plaatsvinden. Deze terugkoppeling wordt alleen genoemd.

8.7 Conclusies

In dit hoofdstuk is het functioneel ontwerp gemaakt voor de ondergrondse ruimte. Het blijkt dat er bij een doorvoer van 165.000 TEU en 375.000 pallets per jaar, er 4,6 hectare ondergrondse ruimte nodig is. De opslagcapaciteit van de ondergrondse opslag is 1000 TEU en van het distributiecentrum 22000 pallets.

Er is gekozen voor een stapelhoogte "1½". Dit betekent dat er maximaal 2 containers op elkaar kunnen worden geplaatst. De hoogte van deze containers samen met de hoogte van de Overhead Bridge Crane vormen de interne hoogte en deze bedraagt 8,6 meter. De pallets worden 4 hoog gestapeld, waardoor er 5500 palletstellingen zijn. Deze palletstellingen zijn verdeeld over 3 grote cellen en 4 kleine cellen.

De kolomafstand ondergronds is in beide richtingen bepaald op 13 meter (h.o.h.). Dit houdt in dat er in de ondergrondse opslag voor koelcontainers tussen de kolommen 4 containers naast elkaar kunnen worden gezet. In het distributiecentrum passen 4 palletstellingen met 2 gangpaden voor de vorkhef trucks tussen twee kolommen.

Voor het uitladen van de containers zijn 4 uitlaadplaatsen nodig en deze liggen in het verlengde van de 7^e stacking lane. Voor het inladen van de vrachtwagens zijn 11 docking stations nodig.

Met bovenstaande gegevens wordt de ondergrondse ruimte constructief verder uitgewerkt.

9 Constructieve aspecten en eisen van de ondergrondse ruimte

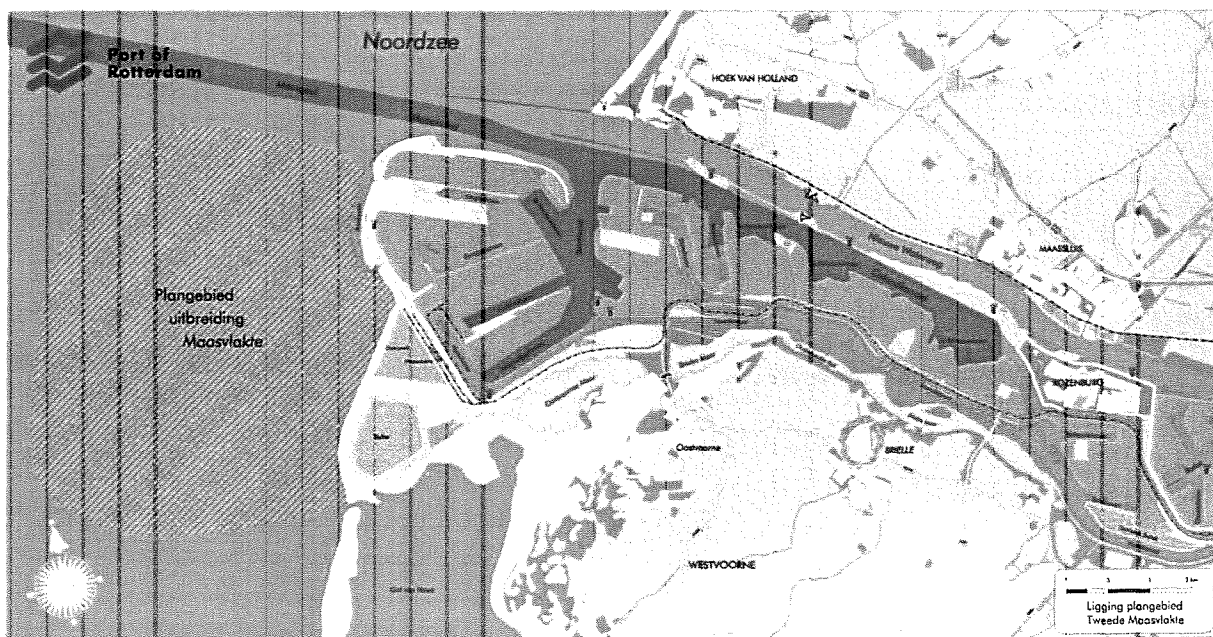
9.1 Inleiding

In het vorige hoofdstuk is een functioneel ontwerp gemaakt voor het ondergronds opslag- en distributiecentrum. Om dit verder uit te werken tot een constructief ontwerp worden er in dit hoofdstuk enkele constructieve aspecten behandeld. Deze aspecten worden in de vorm van uitgangspunten, randvoorwaarden en een programma van eisen gerapporteerd. Het betreft hier eisen die van belang zijn voor het constructief ontwerp. In paragraaf 9.2 worden eerst enkele uitgangspunten beschreven. Vervolgens worden in paragraaf 9.3 enkele randvoorwaarden genoemd. Randvoorwaarden worden van buitenaf opgelegd. In dit onderzoek betreft het vooral natuurlijke randvoorwaarden, zoals bijvoorbeeld de grondgesteldheid. Het technisch Programma van Eisen wordt in paragraaf 9.4 behandeld. Hierin staan zaken waarmee rekening gehouden moet worden bij het constructieve ontwerp. In paragraaf 9.5 worden de belastingen die op de constructie werken gedefinieerd. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt in meerdere constructiedelen, zoals het dak, de wanden, de vloer en de kolommen. Tot slot worden in paragraaf 9.6 enkele belastinggevallen genoemd, die zullen worden doorgerekend.

9.2 Uitgangspunten

▪ Locatie

De locatie van de nieuwe containerterminal met een ondergronds opslag en distributiecentrum voor koelcontainers, is de nog te bouwen Tweede Maasvlakte. Het plangebied voor de uitbreiding van de Maasvlakte staat weergegeven in figuur 9.1. De Tweede Maasvlakte moet nog worden opgespoten en is daarom erg geschikt voor dit project. De ondergrondse ruimte zou uitgespaard kunnen worden door middel van damwanden en/of kademuuren. Verder zijn er wat afmetingen betreft veel vrijheden en hoeft geen rekening gehouden te worden met een bestaande terminal.



Figuur 9.1: plangebied uitbreiding Maasvlakte

- **Levensduur**

De levensduur van de ondergrondse constructie en de nieuwe terminal wordt geraamd op 50 jaar. Dit is de technische levensduur en de periode waarover de constructie kan worden afgeschreven. De functie van de constructie zou in deze 50 jaar wel kunnen veranderen.

- **Normen**

Voor de dimensionering van de constructie en de controleberekeningen wordt uitgegaan van de betonnormen zoals die zijn opgesteld in NEN 6720: voorschriften beton TGB 1990. Voor Geotechnische aspecten wordt uitgegaan van de normen die opgesteld zijn in NEN 6740.

9.3 Randvoorwaarden

- **Grondprofiel**

De container terminal met ondergrondse opslag en distributiecentrum is bedoeld voor Maasvlakte II. Maasvlakte II moet echter nog worden aangelegd en er is dus nog geen grondprofiel of sondering voor handen. Het materiaal waarmee Maasvlakte II wordt opgespoten zal uit zand bestaan, net als bij de eerste Maasvlakte. Voor het grondprofiel wordt voorlopig uitgegaan van de eerste Maasvlakte. Er is een aantal sonderingen bekeken. Deze sonderingen zijn genomen in de omgeving van de Amazonehaven. In bijlage VIII staan twee van deze sonderingen weergegeven. Te zien is dat tot NAP –20 meter de grond voornamelijk uit zand bestaat en dat er op NAP -20 meter en NAP –23 meter een kleilaag is van ongeveer 1 meter dik is. In tabel 9.1 staat een overzicht van de grondlagen weergegeven met de bijbehorende parameters. Deze parameters volgen uit de sondering en de NEN 6740⁽²⁶⁾.

Tabel 9.1: grondparameters

9.3.1.1.1 Grondlaag	q_c (MPa)	γ_{droog} (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	Cohesie (kPa)	ϕ
1. zand (NAP + 5 m tot NAP)	7	17	19	-	30°
2. zand (NAP tot –20 m)	14	18	19-20	-	30°
3. zandhoudende klei (NAP –20 tot -21)	2	20	20	20	22,5°
4. zand ((NAP –21 tot –23)	40	20	21	-	35°

De onderkant van de vloer van de ondergrondse ruimte zal niet dieper zijn dan ongeveer 13 meter. Dit houdt in dat er onder de constructie met de waarden de tweede grondlaag kan worden gerekend. De waarden voor de conusweerstand zijn gemiddeld over een grote diepte. Indien de grondlagen kleiner worden genomen kan de conusweerstand per grondlaag anders zijn. Zo kunnen er lagen worden onderscheiden waar de conusweerstand 10 MPa is, maar er zijn ook lagen met een conusweerstand van 30 MPa.

- **Grondwaterstand**

Ter plaatse van de huidige terminals op het ECT-schiereiland ligt de grondwaterstand op NAP +2,0 meter. Deze grondwaterstand wordt permanent op deze hoogte gehouden met behulp van dieptedrainage. De natuurlijke grondwaterstand op het ECT-schiereiland loopt van gemiddeld NAP +2,5 meter direct achter de kade tot NAP +4,5 meter verder terrein inwaarts. Voor Maasvlakte II wordt gerekend met een grondwaterstand van gemiddeld NAP + 2,0 meter. Voor een hoge grondwaterstand wordt gerekend met NAP +3,0 meter en voor een lage grondwaterstand met NAP + 1,0 meter.

9.4 Technisch Programma van Eisen

- **Terreinhoogte en aanleghoogte**

De terreinhoogte van Maasvlakte II wordt NAP +5,8 meter. Dit is de uiteindelijke hoogte waarmee gerekend gaat worden. De aanleghoogte van Maasvlakte II is NAP +6,3 meter.

- **Kolomafstanden**

De kolomafstand van de kolommen parallel aan de container stack is hart op hart 13 meter. Voor de kolomafstand in de richting dwars op de container stack moet een minimale vrije ruimte worden aangehouden van 11,4 meter plus 2 keer de breedte van een console.

- **Containeropslag ondergronds**

De containeropslag ondergronds moet 1000 TEU kunnen opslaan. Er worden 7 stacks van 144 TEU aangelegd.

- **Oppervlakte ondergrondse ruimte**

De ondergronds opslag en het distributiecentrum zijn samen 221 x 208 m² groot. Dit houdt in dat de totale ondergrondse een oppervlakte heeft van 46000 m². De ondergrondse opslag ligt volledig onder de bovengrondse opslag.

- **Vrije hoogte**

De minimaal benodigde vrije hoogte voor de ondergrondse ruimte is 8,6 meter. Deze vrije ruimte bestaat uit de hoogte voor het stapelen van de containers en de hoogte van de bovenloopkranen.

- **Veiligheidsklasse**

De ondergrondse opslag en het ondergrondse distributiecentrum moet ontworpen worden voor veiligheidsklasse 3

9.5 Belastingen

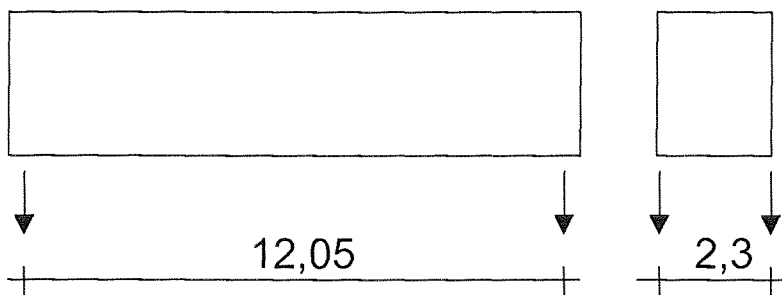
In deze paragraaf zullen alle belastingen worden bepaald die op de containerterminal en op de constructie kunnen voorkomen. Voor zover de belastingen gekwantificeerd kunnen worden, worden deze weergegeven in de bruikbaarheids grenstoestand (BGT).

9.5.1 Belastingen op dakconstructie

▪ Bovenbelasting door containers

Bij het dimensioneren van nieuwe containerterminals wordt vaak uitgegaan van een bovenbelasting van 5 à 6 ton per m^2 . Dit komt overeen met een stapelhoogte van 4 volle containers. Indien de containers de belasting gelijkmatig zouden afdragen zou er met een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting kunnen worden gerekend van 50 tot 60 kN/m^2 . Containers dragen de belasting echter af via de hoekpunten van de containers. Deze hoekpunten zijn ongeveer 15 cm bij 15 cm groot.

Het maximum bruto gewicht van de nieuwste containers, dus inclusief de container zelf, is 34 ton. Niet alle containers zijn gedimensioneerd op 34 ton. De meeste containers hebben een maximum bruto gewicht van 30,5 ton. Er wordt echter uitgegaan van 4 containers op elkaar met een brutogewicht van 34 ton. Per hoekpunt is er nu een geconcentreerde last van 34 ton, wat neerkomt op 340 kN per hoekpunt. Deze lasten grijpen hart op hart (h.o.h.) in de lengterichting 12,05 meter van elkaar en in de breedte richting op 2,3 meter. De kolommen in de lengterichting staan h.o.h. 13 meter. Dit betekent dat er bovengronds 8 containers kunnen staan tussen de Overhead Bridge Crane en dat er per overspanning 4 containers naast elkaar staan. De schematisering van de lasten van de container staat weergegeven in figuur 9.2. De containers leveren een statische belasting die variabel kan zijn.



Figuur 9.2: schematisering van de containerlasten

▪ Bovenbelasting door Overhead Bridge Crane (OBC)

De bovenbelasting van de OBC bestaat uit het eigengewicht van de liggers, het eigengewicht van de pijlers (kolommen) en het eigengewicht van de kraan zelf, inclusief een container van 34 ton. Het eigengewicht van de liggers en de kolommen leveren een statische en permanente belasting op het maaiveld. Het eigengewicht van de kraan en de container die er aan hangt is dynamisch, daar de kraan over rails op de liggers heen en weer kan rijden. De belasting wordt echter via de liggers en de kolommen afgevoerd naar het maaiveld.

Het valt buiten dit onderzoek om de OBC tot in detail te dimensioneren. Er wordt echter een OBC met afmetingen aangenomen, waarbij het eigengewicht kan worden uitgerekend. De rem en versnellingskrachten van de kraan leveren een momenten en dwarskrachten in de kolommen, waardoor de kolommen een grote doorsnede hebben. De vrije hoogte onder de OBC is minimaal 15,5 meter (1 over 4 stapelen). De hoogte van de ligger wordt op 1,5 meter aangenomen en de breedte op 1 meter. De betonnen peilers of kolommen worden nu 14 meter hoog en hebben een afmeting van 1,2 x 1,0 m². Deze kolommen staan h.o.h. 13 meter uit elkaar, zodat de belasting van de kolommen direct kan worden afgedragen naar de kolommen ondergronds. Deze afmetingen zijn ontleend aan de bestaande Pasir Panjang terminal in Singapore, waar van dit systeem gebruik wordt gemaakt. De belasting van de kraan met een container wordt maximaal geschat op 700 kN. Deze situatie treedt op als de container aan 1 zijde van de kraan hangt (helemaal links of rechts en dus niet in het midden) en de kraan precies ter plaatse van een kolom staat. omdat er op de ligger 2 kraanbanen zijn moet er rekening gehouden worden met 2 keer de belasting van de kraan en de container. De maximale belasting van de gehele OBC per kolom staat weergegeven in tabel 9.2.

Tabel 9.2: maximale belasting door OBC

Onderdeel	Afmetingen	Beton	Belastingen
Betonnen liggers	1,5 x 1,0 x 13 m ³	25 kN/m ³	480 kN
Betonnen kolommen	14 x 1,2 x 1,0 m ³	25 kN/m ³	490 kN
Kraan + container (2x)	-	-	1400 kN
Totaal			2370 kN

- **Bovenbelasting door Automated Lift Vehicle of Straddle Carrier**
Straddle carriers en vergelijkbare Automated Lift Vehicles (ALV's) hebben rubber banden. Voor deze voertuigen moet rekening worden gehouden met wiellasten van maximaal 120 kN per wiel. Straddle carriers (of ALV's) leveren een dynamische belasting. Er zal ook rekening moeten worden gehouden met rem- en versnellingskrachten.
- **Bovenbelasting door kadekraan**
Kadekranen of containerkranen rijden op stalen wielen op rails. De containerkranen hebben hoeklasten van maximaal 700 kN/hoek. De hoeklast wordt verdeeld door middel van wielstellen (bogey's). Als de kadekraan stil staat levert deze een statische belasting. De kadekraan kan echter ook verrijden en dan moet rekening worden gehouden met een dynamische belasting. De rijnsnelheid van een kadekraan is echter erg klein.
- **Bovenbelasting door sneeuw**
Voor alle daken wordt met een representatieve sneeuwbelasting rekening gehouden van 0,56 kN/m². De belasting door sneeuw op de containers wordt afgevoerd via de hoekpunten van de containers. Een 40' container heeft een oppervlak van 29,7 m². Per hoekpunt wordt er: $\frac{0,56 \cdot 29,7}{4} = 4,2$ kN afgedragen. Dit is ongeveer 1,2 procent van de maximale belasting van de containers.

9.5.2 Belasting op zijwand van de constructie

De belasting op de zijwanden van de constructie bestaat uit horizontale gronddrukken, die volgen uit de verticale gronddrukken, en uit waterdrukken. Het grondprofiel en de grondwaterstand waarmee rekening wordt gehouden, staan eerder in dit hoofdstuk vermeld. Een andere belasting is een bovenbelasting door de containers en het dak van de ondergrondse constructie.

▪ Verticale grondspanningen

Voor de bovenbelasting op het maaiveld wordt nu niet uitgegaan van de puntlasten van de containers, maar er wordt van uitgegaan dat deze belasting zich spreidt in de grond, zodat wordt uitgegaan van een gelijkmatig verdeelde bovenbelasting van 50 kN/m^2 . De ondergrond bestaat uit zand, waarbij de grondwaterspiegel op NAP +2,0 meter ligt. Uit het programma van eisen volgde dat het terrein op NAP + 5,8 meter komt te liggen. De verticale grondspanning (σ_v) bestaat uit een verticale korrelspanning (σ'_v) en een waterspanning (p). Deze spanningen staan nu weergegeven in tabel 9.3

▪ Waterdrukken (waterspanningen)

De waterspanning nemen lineair toe met de diepte. De waterspanning bedraagt 10 kN/m^2 . De waterspanning staat weergegeven tabel 9.3. Waterdruk is alzijdig, wat betekent dat de druk in alle richtingen gelijk is. De verticale waterdruk op een bepaalde diepte is dus even groot als de horizontale waterdruk op die diepte.

▪ Horizontale grondspanning

De horizontale grondspanning (σ_h) werkt op de constructie. Deze grondspanning bestaat uit een horizontale korrelspanning (σ'_h) en een waterspanning (p). De horizontale korrelspanning volgt uit de verticale korrelspanning. Er wordt vanuit gegaan dat de constructie star en stijf is waardoor er gerekend kan worden met neutrale gronddrukken. De neutrale gronddruk hangt af van de hoek van inwendige wrijving. Deze staan eerder in dit hoofdstuk weergegeven in tabel 9.1. De horizontale korrelspanning kunnen nu worden berekend door de verticale korrelspanning te vermenigvuldigen met de factor voor neutrale gronddruk ($\lambda_{\text{neutraal}}$). De horizontale grondspanning wordt gevonden door de waterspanning bij de horizontale korrelspanningen op te tellen. Al deze waarden staan weergegeven in tabel 9.3.

Tabel 9.3: verticale en horizontale gronddrukken

t.o.v. maaiveld	Afstand t.o.v. NAP	σ_v (kN/m ²)	p (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	$\lambda_{\text{neutraal}}$	σ'_h (kN/m ²)	σ_h (kN/m ²)
0,0	5,8	50	0	50,0	0,58	29,0	29,0
-1,4	4,4	73,8	0	73,8	0,6	42,8	42,8
-3,8	2,0	114,6	0	114,6	0,58	66,5	66,5
-5,8	0,0	152,6	20	132,6	0,58	76,9	96,9
-8,6	-2,8	208,6	48	160,6	0,58	93,1	141,1
-8,8	-3,0	212,6	50	162,6	0,58	94,3	144,3
-10,0	-4,2	236,6	62	174,6	0,58	101,3	163,3
-11,0	-5,2	256,6	72	184,6	0,58	107,1	179,1
-12,0	-6,2	276,6	82	194,6	0,58	112,9	194,9
-13,0	-7,2	296,6	92	204,6	0,58	118,7	210,7
-14,0	-8,2	316,6	102	214,6	0,58	124,5	226,5

▪ Temperatuursbelasting

De buitenwanden van het distributiecentrum hebben ondergaan ook een temperatuursbelasting. De invloed op het draagvermogen wordt hier buiten beschouwing gelaten.

9.5.3 Belasting op kolommen

- **Belasting door ondergrondse bovenloopkraan**
De ondergrondse bovenloopkraan draagt de belasting af via de consoles en dus de kolommen. Er moet rekening worden gehouden met het eigengewicht van de bovenloopkraan en een container van maximaal 34 ton. De belasting die maximaal op 1 kolom kan worden afgedragen wordt op 400 kN aangenomen.
- **Bovenbelasting**
De kolommen moeten de bovenbelasting van de containers afdragen, het eigengewicht van het dak van de ondergrondse opslag en de belasting van de OBC. Deze laatste is eerder bepaald op maximaal 2370 kN. Het eigengewicht van de dakconstructie van de ondergrondse opslag hangt af van de dikte van deze constructie.

9.5.4 Belasting op vloer ondergronds

- **Waterdruk**
Op de vloer werkt een opwaartse waterdruk. De grootte van deze waterdruk hangt af van de grondwaterstand en de diepte van de onderkant van de vloer. De grondwaterstand ligt op NAP +2,0 meter en de onderkant van de vloer ongeveer op 3 à 4 meter onder NAP. De waterdruk neemt voor elke meter dieper ondergronds toe met 10 kN/m².
- **Bovenbelasting door ondergrondse koelcontainers**
De koelcontainers worden maximaal 2 hoog gestapeld ondergronds. Dit betekent dat de hoekpunten maximaal een belasting afdragen van 170 kN. De h.o.h. afstand van de lasten is in de lengterichting van de container 12,05 meter en in de breedterichting 2,3 meter, zie ook figuur 9.2. De belasting is net als bij de koelcontainers bovengronds statisch en variabel
- **Belasting door vorkhef trucks**
De elektrische vorkhef trucks in het distributiecentrum rijden uitsluitend met pallets. De maximale wiellast van deze vorkhef trucks bedraagt ongeveer 25 kN per wiel. De vorkhef trucks leveren een dynamische belasting.
- **Belasting door pallets en palletstellingen**
De pallets staan in palletstellingen tussen geleiders. De vakken zijn 2,5 meter breed, wat inhoudt dat er 2 pallets in 1 vak kunnen staan. Dit betekent dat één geleider het gewicht van 8 pallets moet afdragen naar de ondergrond. Het gewicht van de pallets is afhankelijk van de lading die er op staat en de dichtheid van deze lading. Het gewicht van de palletstellingen is veel gelijkmatiger verdeeld dan bij de containers, omdat de geleiders van de palletstellingen dichter bij elkaar staan. Pallets wegen over het algemeen 1 ton. Als er 8 pallets door 1 geleider moet worden afgevoerd, betekent dat er 8 ton door 1 geleider wordt afgevoerd.
- **Belasting door kolommen en wanden**
Op de vloer werkt de belasting van de kolommen. Dit is het eigengewicht van de kolommen, de belasting van de ondergrondse bovenloopkraan, het eigengewicht van de dakconstructie, de belasting van de OBC bovengronds en de bovenbelasting door containers of materieel. Al deze belastingen worden via de kolommen afgevoerd naar de vloer van de ondergrondse constructie.

▪ **Belasting door korreldruk ondergronds**

Aan de onderkant van de vloer van de ondergrondse constructie werkt op de constructie nog een korreldruk. Deze spanning volgt uit de neerwaartse belastingen en de opwaartse waterdruk. De korreldruk ontstaat als de neerwaartse belasting groter is dan de opwaartse waterdruk, en dit moet altijd het geval zijn, daar de constructie anders opdrijft.

9.5.5 Belasting op binnenwanden

De binnenwanden zijn de wanden die de vriescellen scheiden. Deze wanden hebben geen draagfunctie en er werken ook geen grote krachten op. Op de wanden werkt wel een temperatuurbelasting, omdat ze een scheiding vormen tussen de vriescellen en de werkruimte in het distributiecentrum. De wanden worden daarom niet in beton gemaakt, maar van een lichter en beter isolerend materiaal. Het gewicht wordt verwaarloosd

9.6 Belastinggevallen

De belastingen die zijn genoemd in de vorige paragraaf zijn belastingen in de bruikbaarheids grenstoestand. Ze worden ook wel representatieve belastingen genoemd. Gewapende betonconstructies worden gedimensioneerd op de uiterste grenstoestand. De belasting uit de bruikbaarheids grenstoestand worden dan vermenigvuldigd met een belastingfactor. Nu wordt de rekenwaarde van de belasting verkregen. In deze paragraaf worden eerst de belastingen, de belastingfactoren en de fundamentele belastingfactoren gegeven. Vervolgens worden deze toegepast op de constructieonderdelen die in de vorige paragraaf zijn gedefinieerd.

9.6.1 Belastingfactoren en fundamentele belastingcombinaties

De voorgeschreven belastingen bestaan uit:

- | | |
|--|------------------|
| ▪ permanente belasting (eigen gewicht en rustende belasting) | G |
| ▪ extreme waarde van de veranderlijke belasting | Q_e |
| ▪ momentane waarde van de veranderlijke belasting | $Q_m = \psi Q_e$ |
| ▪ bijzondere belasting | F_a |
| ▪ Voorspanbelasting | P |

De fundamentele belastingcombinaties zijn⁽²⁵⁾:

- $1,2 G + P + (1,5 \text{ of } 0) Q_e + (1,5 \text{ of } 0) Q_m$
Met betrekking tot de verdeling van de veranderlijke belasting over de velden moet in dit geval gerekend worden met één veld of twee aansluitende velden die worden belast met de extreme veranderlijke belasting terwijl de overige velden niet worden belast.
- Voor constructies waarbij de uiterste grenstoestanden "verlies van standzekerheid" of "instabiliteit" mogelijk zijn, geldt dat de belasting factor voor permanente belasting (G) van 1,2 moet worden vervangen door 0,9 en dat daarbij gunstig werkende veranderlijke belastingen op nul moeten worden gesteld.
- $1,35 G + P$
Dit is voor constructies die vrijwel uitsluitend worden belast door permanente belasting en rustende belasting.
- Bijzondere combinatie: $G + P + F_a + Q_m$.

9.6.2 *Belastinggevallen dakconstructie*

Op het dakconstructie worden in de berekening de onderstaande belastingcombinaties getoetst. In bruikbaarheids grenstoestand:

- Eigengewicht van het dak en de kolommen en liggers van de OBC + veranderlijke belasting van containers + veranderlijk belasting van de OBC + veranderlijke belasting door sneeuw.

In de uiterste grenstoestand:

- Eigengewicht van het dak en de kolommen en liggers van de OBC + veranderlijke belasting van containers + veranderlijk belasting van de OBC + veranderlijke belasting door sneeuw.
- Eigengewicht van het dak en de kolommen en liggers van de OBC + veranderlijk belasting van de OBC.
- Eigengewicht van het dak en de kolommen en liggers van de OBC + veranderlijke belasting van containers.
- Alleen eigengewicht van het dak en de kolommen en liggers van de OBC.

9.6.3 *Belastinggevallen buitenwanden*

In de bruikbaarheids grenstoestand:

- Eigengewicht van kolommen en ligger van de OBC + eigen gewicht van de wand + eigen gewicht dakconstructie + veranderlijke belasting van de OBC + veranderlijke belasting door horizontale gronddruk + veranderlijke belasting van de containers.

In de uiterste grenstoestand:

- Eigengewicht van kolommen en ligger van de OBC + eigen gewicht van de wand + eigen gewicht dakconstructie + veranderlijke belasting van de OBC + veranderlijke belasting door horizontale gronddruk + veranderlijke belasting van de containers.
- Eigengewicht van kolommen en ligger van de OBC + eigen gewicht van de wand + eigen gewicht dakconstructie + veranderlijke belasting van de OBC + veranderlijke belasting van de containers.
- Eigen gewicht van de wand + eigen gewicht dakconstructie + veranderlijke belasting door horizontale gronddruk.

9.6.4 *Belastinggevallen kolommen*

In de bruikbaarheidsgrenstoestand:

- Eigengewicht van kolom en ligger van de OBC + eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de OBC + veranderlijke belasting van de containers + veranderlijke belasting van de ondergrondse OBC.
- Eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de containers + veranderlijke belasting van de ondergrondse OBC.

In de uiterste grenstoestand:

- Eigengewicht van kolom en ligger van de OBC + eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de OBC + veranderlijke belasting van de containers + veranderlijke belasting van de ondergrondse OBC.
- Eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de containers + veranderlijke belasting van de ondergrondse OBC.
- Eigengewicht van kolom en ligger van de OBC + eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de OBC.
- Eigengewicht van de dakliggers + eigengewicht van de dakplaten + eigengewicht van de kolommen + veranderlijke belasting van de containers + veranderlijke belasting van de ondergrondse OBC.

9.6.5 Belastinggevallen vloer

In de bruikbaarheids grenstoestand

- Belasting door kolommen + belasting door containers ondergronds + belasting door vorkhef trucks + belasting door pallets + belasting door waterdruk + belasting door korreldruk + eigen gewicht vloer.
- Belasting door kolommen + belasting door waterdruk + eigengewicht vloer.

In de uiterste grenstoestand

- Belasting door kolommen + belasting door containers ondergronds + belasting door vorkhef trucks + belasting door pallets + belasting door waterdruk + belasting door korreldruk + eigen gewicht vloer.
- Belasting door kolommen + belasting door waterdruk + eigengewicht vloer.
- Belasting door kolommen + belasting door waterdruk + belasting door korreldruk + eigen gewicht vloer.

10 Constructief ontwerp constructie

10.1 Inleiding

Tot nu toe ligt er een functioneel ontwerp en zijn alle belastingen, voor zover mogelijk, bepaald. In dit hoofdstuk zal het functioneel ontwerp verder constructief worden uitgewerkt. De wanden, vloeren, kolommen en het dak zullen worden gedimensioneerd aan de hand van simpele ontwerpberekeningen. Bij elk onderdeel zal worden nagegaan of de optredende krachten door gewapend beton kunnen worden opgenomen of dat er voorgespannen moet worden. Ook zal aan de orde komen welke onderdelen eventueel geprefabriceerd kunnen worden en welke delen in het werk gestort moeten worden.

De berekeningen staan weergegeven in bijlage VII. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste stappen die genomen zijn beschreven en worden de resultaten weergegeven. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het programma MatrixFrame.

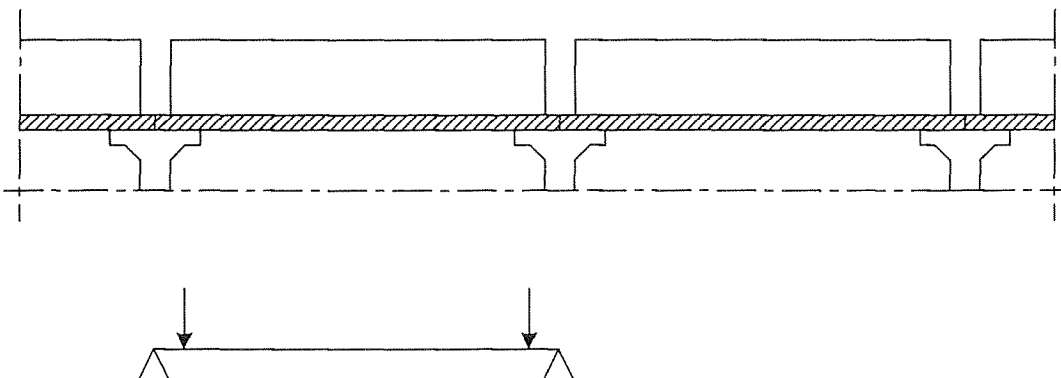
In paragraaf 10.2 wordt het dak van de ondergrondse opslag gedimensioneerd. De benodigde dikte van de wanden wordt in paragraaf 10.3 bepaald. De afmetingen van de kolommen worden in paragraaf 10.4 bepaald en tot slot wordt in paragraaf 10.5 de vloer gedimensioneerd. In paragraaf 10.6 wordt tot slot van dit hoofdstuk nog iets gezegd over de uitvoering.

10.2 Dimensionering dakconstructie

de dikte van de dakconstructie hangt af voornamelijk van het type bovenbelasting. De mogelijke bovenbelastingen zijn in het vorige hoofdstuk beschreven. Er wordt vanuit gegaan dat de ondergrondse constructie volledig onder de ondergrondse opslag ligt. Hierdoor treden er geen dynamische belastingen op, op het dak van de constructie. De volgende belastingen over:

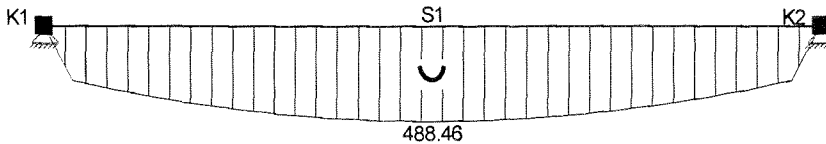
- bovenbelasting van de containers (veranderlijke belasting)
- bovenbelasting van de OBC (veranderlijke belasting + rustende belasting)
- sneeuwbelasting (veranderlijke belasting)
- eigengewicht dakconstructie (permanente belasting)

De schematisering van de bovenbelasting van de containers staat voor twee richtingen gegeven de figuren 10.1 en 10.3. De berekening en de schematisering van de andere belastingen zijn weergegeven in bijlage VII. In deze paragraaf worden alleen de resultaten gegeven.



Figuur 10.1: schematisering containerlasten in lengterichting van de container

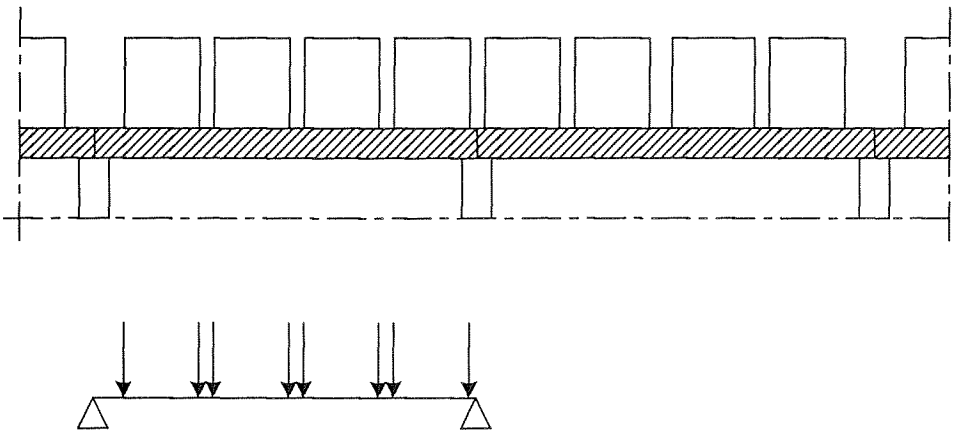
In de eerste schematisering, parallel aan de lengterichting van de containers, is te zien dat de lasten van de container vlak bij de opleggingen aangrijpen. Deze opleggingen zijn de kolommen ondergronds. Hierdoor wordt het moment klein gehouden en is het maatgevende moment in deze richting niet bepaald door de bovenbelasting van de containers, maar door het eigengewicht van het dak. Dit is ook te zien in figuur 10.2, waarin de omhullende momentenlijn is weergegeven. De omhullende momentenlijn geeft de maximale momenten weer van alle belastingcombinaties.



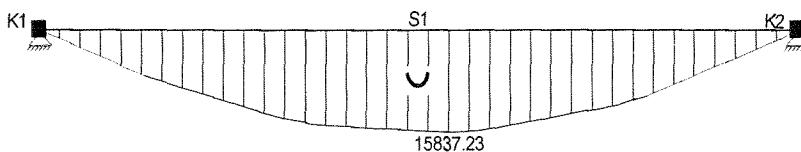
figuur 10.2: omhullende momentenlijn $M = 488 \text{ kNm}$

De benodigde dikte om dit moment op te nemen is ongeveer 0,4 meter bij een wapeningspercentage van 1 procent en een betonkwaliteit B35.

In de tweede schematisering (figuur 10.3) is te zien dat er meer krachten van de containers op de overspanning werken. De omhullende momentenlijn staat weergegeven in figuur 10.4: Het maximaal optredende moment is erg groot en afgevraagd moet worden of dit nog met gewapend beton is op te nemen. Als wordt gewerkt met de wapeningstabel voor momenten in bijlage VIII, dan volgt dat er met een wapeningspercentage van 1 procent een balkhoogte van minimaal 2,1 meter nodig is. Een ligger van ruim twee meter hoog is op zichzelf wel te realiseren, maar dit betekent wel dat de ondergrondse opslag dieper komt te liggen en dat daardoor de krachten op de constructie groter worden.



Figuur 10.3: schematisering containerlasten in de breedterichting van de containers



Figuur 10.4: omhullende momentenlijn in de breedterichting van de containers $M = 15807$

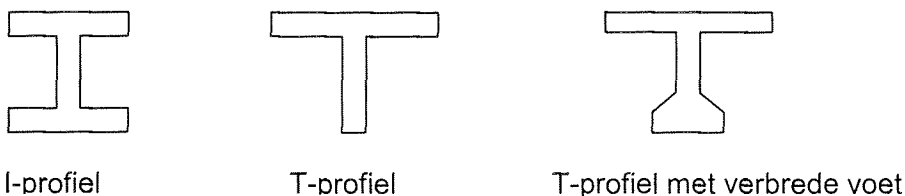
Net als de interne vrije hoogte ondergronds moet de dikte van het dak ook worden beperkt. Voor deze hoogtebeperking zijn een aantal mogelijkheden:

- De balkbreedte breder maken.
- De balken uit het maaiveld laten steken.
- Voorspanning aanbrengen.

Door de balk breder te maken kan de hoogte gereduceerd worden. De hoogte zit echter kwadratisch in de formule en het verbreden van de balk of ligger is dan normaal gesproken niet effectief. Bovendien wordt de betondoorsnede groter, waardoor er meer beton nodig is. In dit geval betekent het echter wel dat de ondergrondse constructie minder diep komt te liggen en dat daardoor de krachten op de wanden en op de vloer reduceren.

Een andere mogelijkheid is om de balk iets boven het maaiveld te laten uitsteken. Hierdoor komen de containers iets hoger te staan ten opzichte van de containers die niet boven de ondergrondse opslag staan. Nu kan de balkhoogte van 2,1 meter worden genomen zonder dat de ondergrondse opslag veel dieper komt te liggen.

Tot slot kan er aan voorspanning gedacht worden. Met voorspanning is een reductie in de constructiehoogte te realiseren, doordat er in de ligger een extra drukspanning door middel van voorspanning is aangebracht. In het geval van voorspanning kan met geprefabriceerde elementen worden gewerkt. Er kan gedacht worden aan T-profielen of I-profielen, zie ook figuur 10.5. T-profielen worden over het algemeen toegepast bij statisch bepaalde constructies, waarbij het eigengewicht van de constructie (veel) groter is dan de veranderlijke belasting. De I-profielen daarentegen worden toegepast bij kleine overspanningen en met name wanneer de veranderlijke belasting aanmerkelijk groter is dan de permanente belasting.



Figuur 10.5: mogelijke profielen voor voorgespannen liggers

De hoogte van voorgespannen liggers varieert over het algemeen tussen $1/20$ tot $1/35$ van de overspanning. In dit geval zou dat betekenen dat de hoogte van de ligger tussen de 0,4 en 0,65 meter kan liggen. Er moet echter rekening gehouden worden met exceptionele belastingen, waardoor deze vuistregel niet gerechtvaardigd is.

In bijlage VII is gekozen voor een voorgespannen ligger. De hoogte van de constructie is geminimaliseerd tot 1,4 meter. In figuur VII.9 staat de beschouwde ligger weergegeven. De aangenomen voorgespannen ligger is een T-ligger met een verbrede voet. Uit de berekeningen is gebleken dat de voorspanning te realiseren is, maar niet met normaal beton. Onder normaal beton wordt verstaan beton met een druksterkte kleiner dan 65 N/mm^2 . De reden dat dit niet te realiseren is dat de voorspankracht om de variabele belasting op te nemen te groot is. Om dit probleem op te lossen worden de volgende oplossingen aangedragen:

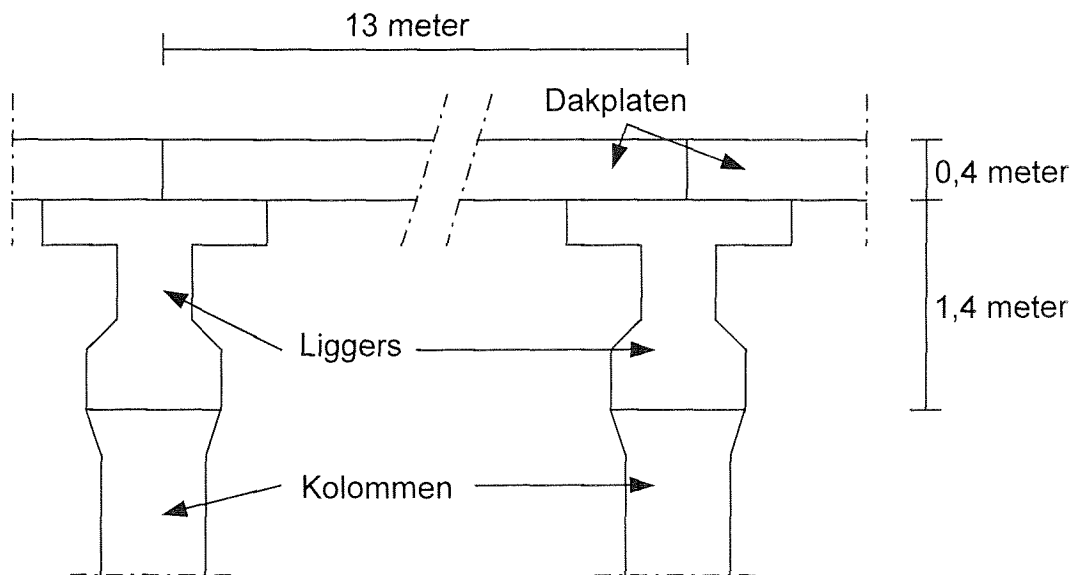
- Het zwaartepunt van de voorspanning anders in de constructie leggen. Als met een grotere excentriciteit wordt gewerkt dan wordt de benodigde voorspankracht kleiner, vanwege de grotere effectiviteit van de voorspanning (moment \times arm), maar neemt de drukspanning in de uiterste vezel toe. Een kleinere excentriciteit heeft een grotere voorspankracht tot gevolg maar levert een kleinere drukspanning op in de uiterste vezel.

- Een hogere betonkwaliteit toepassen.
Bij de berekende doorsnede is uitgegaan van een betonkwaliteit B65. Dit is de hoogste betonkwaliteit als gesproken wordt van normaal beton. Er wordt echter op steeds grotere schaal hoge sterkte beton toegepast. Onder hoge sterkte beton wordt beton verstaan waarvan de karakteristieke kubusdruksterkte f_{ck} hoger is dan 65 N/mm^2 . Door een hogere betonsterkte toe te passen neemt de toelaatbare drukspanning toe. Een kleine trekspanning in de constructie toelaten.
Er kan gedacht worden om een kleine trekspanning toe te laten in de constructie. Hierdoor kan de voorspankracht kleiner worden, wat een kleinere drukspanning tot gevolg heeft. Op de plaatsen waar de trekspanning kan optreden moet echter nog wel wapening worden toegepast.

Een combinatie van deze maatregelen geeft geleid tot een ligger die de belastingen van de containers kan dragen. Er moet echter een betonsterkte B105 worden toegepast om de optredende drukspanningen te kunnen weerstaan. Voor de gedetailleerde berekening wordt verder verwezen naar bijlage VII.

De dakconstructie wordt nu als volgt opgebouwd (zie figuur 10.6):

- Op de kolommen liggen in 1 richting voorgespannen liggers. De kolommen staan h.o.h. 13 meter van elkaar af, dus de liggers zijn ook ongeveer 13 meter. De doorsnede van deze liggers is $1,27 \text{ m}^2$.
- Op deze liggers liggen dakplaten die de bovenkant van de dakconstructie vormen. Deze platen zijn 400 mm dik en dragen geen belastingen van de containers.



Figuur 10.6: opbouw dakconstructie

10.3 Dimensionering wanden

Op de zijwanden van de ondergrondse constructie werken krachten van opzij maar ook van boven, zodat er de dikte van de wand nu gedimensioneerd moet worden voor buiging en normaalkracht. Hiervoor zijn andere ontwerptabellen gebruikt dan bij de dimensionering van de dakconstructie, omdat daar alleen werd gedimensioneerd op buiging. Deze tabellen staan weergegeven in bijlage VII. Op de wand kunnen de volgende belastingen werken:

- Horizontale gronddruk (veranderlijke belasting)
- Eigen gewicht van de wand en eigengewicht van de dakconstructie (permanent belasting)
- Belasting van de containers (veranderlijke belasting)
- Belasting van de OBC (veranderlijke en permanente belasting)

De schematisering van de wand staat weergegeven in figuur VIII.10. Uit de berekening blijkt dat de situatie met alleen de bovenbelasting van de permanente belastingen (eigen gewicht) en de grondbelasting, maatgevend is voor de dikte van de wand. Er treedt een moment op van 1394 kNm. Om dit moment op te nemen moet wand 600 mm dik zijn. Er is dan een wapeningspercentage van 2 procent.

De maximale normaalkracht in de wand is 3750 kN. Deze normaalkracht is goed op te nemen door de wand. Voor de dwarskracht moet extra beugelwapening worden aangebracht, maar de maximale schuifspanning wordt niet overschreden.

Op drie van de vier buitenwanden werken gronddrukken. Op de vierde wand, de wand bij de docking stations is deze gronddruk niet aanwezig. De belastingen worden daar via kolommen afgevoerd en tussen de kolommen worden scheidingswanden met stalen deuren voor de docking stations gezet.

Naast de buitenwanden zijn er ook nog binnenwanden. Deze wanden hebben een scheidingsfunctie en een isolatiefunctie. De wanden vormen een fysieke scheiding tussen de cellen. Deze wanden zullen niet in beton worden uitgevoerd, maar in een lichter materiaal met een betere isolatie.

10.4 Dimensionering kolommen

De kolommen dienen ervoor om de belastingen bovengronds af te voeren naar de vloer en de fundering. Door de grote belastingen van de containers en de bovengrondse OBC, zijn de krachten die worden afgedragen naar de kolommen groot. Alle belastingen die kunnen optreden worden hieronder nog eens genoemd:

- Belasting van de bovengrondse OBC (veranderlijke en permanente belasting)
- Eigengewicht van de dakconstructie (permanente belasting)
- Eigengewicht van de kolom (permanente belasting)
- Belasting door containers (veranderlijke belasting)
- Belasting van de ondergrondse OBC (veranderlijke belasting)

Bij de eerste 3 belastingen wordt er vanuit gegaan dat dit centrische drukkrachten zijn. De laatste 2 belastingen kunnen excentrisch optreden, bijvoorbeeld als er aan de ene kant van de kolom 4 containers staan en aan de andere kant van de kolom geen containers staan. Dit zelfde geldt voor de ondergrondse OBC.

De schematisering van de belastingen is weergegeven in figuur 10.7. Hierin zijn alle belastingen geschematiseerd die kunnen optreden.

De maximale normaalkracht treedt op bij een vol belaste kolom en is ruim 13.800 kN. De excentriciteit is hier nul en er is alleen sprake van normaalkracht. Om de normaalkracht op te kunnen nemen voldoet een kolom van $700 \times 700 \text{ mm}^2$, met een wapeningspercentage van twee procent.

10.5 Dimensionering vloerconstructie

De dikte van de vloerconstructie hangt af van de belastingen die erop werken. op de vloer werken nu niet alleen neerwaartse belastingen maar ook een opwaartse belasting; de waterdruk. De belastingen die op de vloer kunnen werken zijn:

- Belasting door kolommen (permanente en veranderlijke belasting)
- Belasting door de ondergrondse containers (veranderlijke belasting)
- Belasting door pallets (veranderlijke belasting)
- Belasting door vorkhef trucks (veranderlijke belasting)
- Belasting door waterdruk (veranderlijke belasting)
- Belasting door korreldruk (veranderlijke belasting)
- Eigengewicht van de vloer

Eerst is onderzocht of de constructie zwaar genoeg is tegen opdrijven. Deze situatie kan zich voor doen als de ondergrondse opslag leeg is en er geen veranderlijke belasting bovenop de ondergrondse constructie werkt. Uit de berekening in bijlage VII is gebleken dat de ondergrondse opslag in dit geval opdrijft en dat er een vloer van minimaal 6 meter dik nodig is om de opwaartse waterdruk te compenseren. Een vloer van 6 meter dik over een oppervlakte van ruim 4 hectare is onmogelijk om uit te voeren. Er zijn twee oplossingen aangedragen om dit probleem op te lossen:

- De opslag minder diep maken.
De bovenbelastingen blijven nagenoeg gelijk en de opwaartse waterdruk neemt af. Dit betekent dat het ontwerp moet worden herzien en er een nieuw functioneel ontwerp moet worden gemaakt waarbij er een nieuwe keuze gemaakt moet worden voor het opslagsysteem. In dit geval zal er slechts 1 hoog gestapeld kunnen worden.
- Trekpalen toepassen.
Bij het toepassen van trekpalen, werkt de grond onder de vloer mee met de neerwaartse belasting. Trekpalen toepassen is duurder. Er zal moeten worden bepaald hoeveel trekpalen er nodig zijn en wat de extra kosten zijn.

Er wordt voor gekozen met dit ontwerp verder te gaan en trekpalen toe te passen. Voordat met het ontwerp van de trekpalen wordt begonnen wordt eerst de benodigde vloerdikte aangenomen. De vloer wordt erg stijf aangenomen, zodat de belastingen op de vloer van de kolommen en de containers onder de grond, gelijkmatig worden verdeeld. De vloerdikte wordt niet tot in detail berekend, maar er wordt van een constructievloer uitgegaan van 1,5 meter dik. Een vloer van 1,5 meter dik moet de optredende momenten kunnen opvangen met wapening. Voor het wapeningspercentage wordt uitgegaan van 2 procent. Hiermee komt de onderkant van de constructie op NAP -6,1 meter.

De hart op hart afstand van de trekpalen is bepaald op 5 meter. Bij een paallengte van 12 meter blijkt dat de palen zowel op trek als op druk voldoen.

10.6 Uitvoering

De laatste paragraaf van dit hoofdstuk gaat over de uitvoering van de ondergrondse constructie. Er zal beschreven worden welke mogelijkheden er zijn met betrekking tot de uitvoering van de gehele ondergrondse opslag alsmede de wijze waarop bepaalde constructiedelen worden uitgevoerd. Deze paragraaf dient om het hoofdstuk compleet te maken en er wordt daardoor niet diep ingegaan op uitvoeringstechnische aspecten.

Er wordt uitgegaan van Maasvlakte II. Dit houdt in dat de grond waarin gebouwd wordt nog moet worden opgespoten. In eerste instantie was ook het idee ontstaan om bij het opspuiten een ruimte uit te sparen. Van dit idee is afgeweken omdat de ondergrondse opslag maar 10 meter diep is en de grond eronder nog moet consolideren. De Maasvlakte II wordt dus eerst helemaal opgespoten. Vervolgens moet er een bouwput gemaakt worden. In het algemeen kunnen bij bouwputten twee bouwmethodes worden onderscheiden:

- Er worden diepwanden gestort of damwanden geslagen. Vervolgens wordt de ruimte hiertussen ontgraven en wordt er onderwater beton gestort (al dan niet met trekpalen). De bouwput wordt vervolgens leeggepompt en er ontstaat een droge bouwkuip. In dit geval wordt er niet bemalen.
- Er wordt een bouwput onder natuurlijk talud gegraven, waarbij er bronbemaling wordt toegepast. Dit is een kunstmatige verlaging van de grondwaterstand. De bouwkuip inclusief de trek- en funderingspalen worden vervolgens in-situ gemaakt. Er wordt als het ware van onder naar boven gewerkt.

Het grote verschil tussen deze twee uitvoeringsmogelijkheden is dat er bij de eerste geen bemaling nodig is en bij de tweede wel. Bemalen is over het algemeen vrij duur en er kleven nogal wat nadelen aan met betrekking tot zakkings. Omdat dit project wordt uitgevoerd in een gebied waar nog geen omringende bouwwerken staan, hoeft hier geen rekening mee worden gehouden. In dit project is het echter moeilijk om over een oppervlakte van meer dan 4 hectare een goede onderwater betonvloer te storten. Er wordt daarom voor gekozen voor de tweede bouwwijze, waar er een bouwkuip onder natuurlijk talud wordt gegraven. Er moeten wel goede voorzieningen voor de bronbemaling komen.

Er is gekozen voor vibro combi palen. Deze palen kunnen als volgt uitgevoerd worden. Er wordt een stalen buis (met diameter 0,56) de grond in geslagen. Deze buis is hol. Als de buis op diepte is wordt er een prefab kern in gehangen. Afhankelijk van de belastingen kan dit een gewapend betonnen paal zijn of een stalen I-profiel. De buis wordt vervolgens volgestort met grout (niet onder hoge druk) en de buis wordt getrokken. Er ontstaat nu een paal met een prefab kern met een groutlichaam erom heen.

De palen kunnen gemaakt worden voordat is ontgraven, maar ook als al ontgraven is. In het eerste geval is de stalen buis wat langer. Er wordt echter voor gekozen om de palen in de bouwkuip te maken.

Als de palen in de grond staan kan met de vloer begonnen worden. De vloer wordt ter plaatse gestort en de wapening wordt ter plaatse gelegd. Na de vloer kunnen de wanden en kolommen worden gestort en kan de grond naast de wanden worden aangevuld. De wand moet in dit geval verankerd worden aan de bovenkant. Stempels zijn geen optie vanwege de grootte van de ondergrondse opslag.

Indien de kolommen en wanden zijn gestort kunnen de prefab voorgespannen liggers worden geplaatst en de dakplaten ter afsluiting. De ondergrondse ruimte is nu af en de grondwaterstand kan worden weggehaald.

Bij de afbouw van de containerterminal bovengronds moet rekening worden gehouden met de ondergrondse opslag. Er kan niet door zwaar materieel over de ondergrondse opslag worden heengereden, want daarop is deze niet gedimensioneerd.

10.7 Conclusies

In dit hoofdstuk is de ondergrondse constructie gedimensioneerd. Knelpunten hierbij waren vooral het dak van de constructie en de vloer van de constructie. De containers leveren een exceptionele belasting op het dak van de constructie, waardoor het dak opgebouwd moet worden uit voorgespannen liggers in hoge sterkte beton en betonnen dakplaten. Deze liggers kunnen nog verder geoptimaliseerd worden, maar vanwege de grote variabele belasting en dus de grote voorspankrachten, is een betonsterkte nodig van B105. Bij de vloer zijn trekpalen nodig om de opwaartse waterdruk onder de constructie te compenseren. Er is gekozen voor vibro combi palen. Deze palen staan hart op hart 5 meter en zijn 12 meter lang. Bovendien kunnen ze ook op druk belast worden. De vloer zelf is op 1,5 meter aangenomen. De buitenwanden zijn 600 mm dik. De kolommen hebben een afmeting van $700 \times 700 \text{ mm}^2$, en worden voornamelijk op druk belast.

Voor de uitvoering wordt uitgegaan van een bouwput onder natuurlijk talud die tijdens de bouwfase wordt bemalen.

11 Kosten en besparingen

11.1 Inleiding

Wanneer een ondernemer overweegt een investeringsproject uit te voeren stuit hij op de vraag: wat kost het en wat levert het op? Alleen als het project voldoende oplevert, zal de beslissing worden genomen om het project uit te voeren. In dit project wordt de haalbaarheid getoetst aan de hand van de uitgaven en de opbrengsten en besparingen. Alle investeringen en uitgaven zullen worden teruggerekend naar een netto contante waarde. De investering van een gewone conventionele containerterminal en een bovengronds distributiecentrum zal worden afgewogen tegen de investering van een containerterminal met een ondergronds opslag en distributiecentrum.

In paragraaf 11.2 wordt eerst globaal de investering bepaald van een conventionele terminal en de investering van een bovengronds distributiecentrum (koel- en vrieshuis). In paragraaf 11.3 wordt de investering van de "innovatieve" terminal met ondergrondse opslag bepaald. Paragraaf 11.4 behandelt de verschillen in kosten tussen de twee oplossingen. Tot slot worden in paragraaf 11.5 nog enkele conclusies getrokken

11.2 Kosten terminal zonder ondergrondse opslag en distributiecentrum (conventioneel)

11.2.1 Terminal zonder ondergrondse opslag

De kosten voor een gewone terminal zullen globaal worden bepaald aan de hand van bestaande cases. Het gaat om een orde van grootte te krijgen en voor de kosten van de terminal. De oppervlakte van de terminal zonder ondergrondse opslag bedraagt 62 hectare. Een nieuw te bouwen terminal is de Euromax terminal. Deze terminal wordt 110 hectare groot en heeft een doorvoer van 2,4 miljoen TEU. De aanleg van de Euromax terminal kost 450 miljoen gulden. Dit zijn alleen de kosten van aanleg, inclusief riolering en kabels (infra plus). Daarnaast zijn er nog de kosten voor de stuwadoor, voor onder andere het materieel. Deze zijn voor de Euromax terminal 600 miljoen gulden. De totale kosten voor de Euromax terminal komen daarmee op ruim 1 miljard gulden. Als dit wordt vertaald naar kosten per hectare dan wordt voor deze terminal op ongeveer 9,5 miljoen gulden per hectare uitgekomen.

De Euromax is een nieuwe moderne terminal die vergelijkbaar is met de terminal waarvan in dit onderzoek wordt uitgegaan. De aanlegkosten (infra plus) voor de terminal in dit onderzoek komen hiermee op 4,1 miljoen gulden per hectare. De totale aanlegkosten van een conventionele terminal van 62 hectare worden op ongeveer 255 miljoen gulden gehouden.

11.2.2 Bovengronds distributiecentrum

De kosten van bovengrondse distributiecentra en bovengrondse koel- en vrieshuizen lopen sterk uiteen. De kosten hangen sterk af van waar er gebouwd wordt en waar wat de belastingen op de vloer zijn. De kosten voor distributiecentra worden vaak per m² uitgedrukt en de kosten voor koel- en vrieshuizen worden vaak in m³ uitgedrukt. De kosten voor een normaal goederendistributiecentrum zijn ongeveer fl 500 m².

De range waarbinnen de kosten voor een koel- en vrieshuis kunnen liggen is ongeveer fl 300,- tot fl 700,- per m³. Dit zijn de kosten inclusief alle koelvoorzieningen⁽¹⁾. Bij een project in de Rotterdamse haven is uitgekomen op een investering van fl 350,- à fl 450,- per m³

Het verschil tussen het een distributiecentrum voor koel en vrieslading en een distributiecentrum voor niet gekoelde goederen is met name de isolatie van de wanden en de investering van koelapparatuur. De kosten voor de geïsoleerde wanden wordt voor een bovengrondse koel- en vriesloods en een ondergrondse koel- en vriesloods gelijk verondersteld. Hierdoor wordt voor de kosten van een bovengronds koel- en vrieshuis uitgegaan van een distributiecentrum. Indien wordt uitgegaan van een bovengronds distributiecentrum van 4 ha. groot dan worden de totale bouwkosten voor het distributiecentrum fl 20.000.000,-

11.3 Terminal met ondergrondse opslag (Innovatieve terminal)

11.3.1 Constructiekosten ondergrondse opslag

De gemiddelde betonprijs per m³ voor de "globale" bepaling van de betonwerk kosten bedraagt ongeveer f 500,-.⁽²⁹⁾ Dit is inclusief wapening en bekistingen manuren. Voor een aantal constructieonderdelen ligt deze prijs hoger, bijvoorbeeld voor de voorgespannen liggers in hoge sterkte beton en de verticaal voorgespannen wanden met betonsterkte B65. De prijs per m³ voor de vloer en de kolommen zal aanmerkelijk goedkoper zijn. Er wordt van dit gemiddelde kental uitgegaan, omdat het hier om een globale kostenschatting gaat. In bijlage IX is per constructie onderdeel de benodigde hoeveelheid beton uitgerekend. De resultaten staan weergegeven in tabel 11.1

Tabel 11.1: betonvolumes per constructie onderdeel in m³

dakplaten	18400
voorgespannen liggers	4210
kolommen	1008
wanden	5628
vloer	77000
Totaal	106246

De investering van de betonwerk kosten komt hiermee op: fl 64.000.000,-
Hierbij moeten de kosten voor de trekpalen nog worden opgeteld. De totale kosten voor de trekpalen bedraagt: fl 8.900.000,- De totale investering voor de bouwkosten van de ondergrondse ruimte inclusief de opstelruimte voor de vrachtauto's komt hiermee op: fl 72.900.000

11.3.2 Bovengrondse terminal

De aanlegkosten voor de bovengrondse terminal worden op dezelfde manier bepaald als in paragraaf 11.2.1. De ruimtebesparing bovengronds door koelcontainers ondergronds op te slaan kan worden uitgedrukt in de volgende oppervlakte:

$$O = \frac{Q_{import} \cdot t \cdot F}{r \cdot 365 \cdot m} = \frac{99.000 \cdot 3 \cdot 22}{0,9 \cdot 365 \cdot 0,7} = 2,8 \text{ ha.}$$

De oppervlakte die moet worden aangelegd is dus 2,8 hectare kleiner ten opzichte van een containerterminal zonder ondergrondse opslag. De totale kosten van aanleg voor de bovengrondse terminal worden in dit geval fl 242.720.000,-.

11.3.3 Uitvoeringskosten

De uitvoeringskosten worden hier buiten beschouwing gelaten. In bijlage IX staat uitgelegd wat onder uitvoeringskosten wordt verstaan. Door de grootte van het totale project wordt er vanuit gegaan dat het materieel al aanwezig is. Kosten van bronbemaling en ontgraving tijdens de bouw moeten nog worden opgeteld bij de investering van de innovatieve terminal en zijn niet bepaald. Deze kosten kunnen aanzienlijk oplopen.

11.4 Vergelijking conventionele terminal en innovatieve terminal

De totale aanlegkosten voor de conventionele terminal met een conventioneel distributiecentrum en de innovatieve terminal staan weergegeven in tabel 11.2.

Tabel 11.2: vergelijking conventionele oplossing en innovatieve oplossing

Conventioneel	kosten	Innovatief	kosten
Investering Terminal	fl 254.200.000,00	Investering Terminal	fl 242.720.000,00
Investering Distributiecentrum	fl 20.000.000,00	Investering Ondergrondse opslag	fl 72.000.000,00
Totaal	fl 274.200.000,00		fl 314.720.000,00

In de tabel is te zien dat de aanlegkosten voor de innovatieve terminal ongeveer 40 miljoen gulden hoger liggen dan de aanlegkosten van de conventionele terminal. Dit zijn de vaste investeringen. Daarnaast zijn er nog een aantal uitgaven waarop bespaard kan worden bij de innovatieve terminal. Deze uitgaven zullen in het navolgende worden uitgesplitst.

11.4.1 Huur van de grond

De grond in de Rotterdamse haven wordt over het algemeen verhuurd. De innovatieve oplossing heeft een efficiënter ruimtegebruik. Daarnaast hoeft er geen bovengronds distributiecentrum worden aangelegd waardoor ook die ruimte wordt bespaard ten opzichte van de conventionele oplossing. Op oppervlakte van de innovatieve terminal is 2,8 ha. kleiner dan de oppervlakte van de conventionele terminal. Dit kwam al naar voren bij de aanlegkosten. Deze 2,8 hectare grond hoeft ook jaarlijks minder te worden verhuurd. De huurprijs van deze grond bedraagt ongeveer fl 11,- per m². Bij de innovatieve oplossing hoeft dus jaarlijks fl 11,- x 28000 = fl 308.000,- minder huur betaald te worden. De huurprijs is geïndexeerd met 2,5 procent. De totale huur die minder hoeft te worden betaald, voor een periode van 25 en 50 jaar staat weergegeven in tabel 11.3. De huur van elk jaar is omgerekend naar een contante waarde op tijdstip t = 0, het tijdstip waarop de investering wordt gedaan. Hierbij is een verdisconteringspercentage van 8 procent aangenomen. Ditzelfde kan worden gedaan voor de huur bij het distributiecentrum. Bij de conventionele oplossing neemt het distributiecentrum 4 hectare op het maaiveld in beslag in de innovatieve oplossing nul hectare.

Tabel 11.3: huurbesparing over 25 en 50 jaar naar contante waarde

	25 jaar	50 jaar
Distributiecentrum	fl 9.165.198,48	fl 11.646.300,50
Containerterminal	fl 4.410.751,77	fl 5.604.782,11

Het blijkt dat bij een looptijd van 25 jaar er ongeveer 13,3 miljoen gulden minder huur hoeft worden betaald en bij een looptijd van 50 jaar ongeveer 17,25 miljoen gulden.

11.4.2 Energiebesparing

Bij de innovatieve oplossing is het energieverbruik minder dan bij de conventionele oplossing. Het verminderde energieverbruik kan worden opgesplitst in 2 delen. Het verminderde energieverbruik van koelcontainers en het verminderde energieverbruik in het ondergrondse distributiecentrum. De berekening is weergegeven in bijlage VI. Bij een energieprij van fl 0,15 wordt voor de koelcontainers jaarlijks een besparing gevonden van ongeveer fl 50.000,- en voor het distributiecentrum fl 15.000,-. Deze bedragen worden voor

een looptijd van 25 jaar en 50 jaar berekend naar een contante waarde. De energieprijs wordt geïndexeerd met 2,5 procent.

Tabel 11.4: Energiebesparing bij innovatieve oplossing naar contante waarde

	25 jaar	50 jaar
Koelcontainers	fl 716.031,13	fl 909.867,23
Distributiecentrum	fl 214.809,34	fl 272.960,17

Te zien is dat het aandeel van de energiekosten weinig is: na 25 jaar is er ongeveer 950.000 gulden minder betaald en na 50 jaar ongeveer 1,2 miljoen gulden.

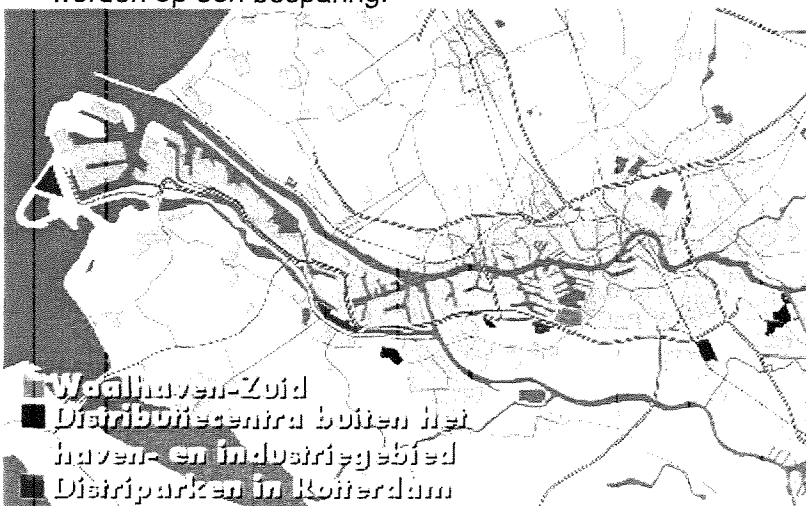
11.4.3 Koelvermogen

In de vorige paragraaf ging het vooral om het energieverbruik. Het vermogen van de koelers kan bij de innovatieve oplossing worden gereduceerd. Deze koelinstallaties hoeven niet op het maximaal vermogen worden gedimensioneerd omdat de temperatuur in de omgeving constant is. Bij een bovengronds koel- en vrieshuis moet rekening worden gehouden met 30 graden Celsius, terwijl er ondergronds slecht met 10 tot 15 graden Celsius rekening kan worden gehouden. Dit kan een besparing opleveren tot wel 50 procent op het koelvermogen en dus op de investering.⁽ⁱ⁾ De totale investering van de complete koel- en vriesinstallaties bij een bovengronds koel- en vrieshuis van gelijke afmetingen wordt geschat op fl 4.000.000,-⁽ⁱ⁾. De investering ondergronds reduceert nu tot fl 2.000.000,-.

11.4.4 Overige verschillen

In het voorgaande is vooral gefocust op de huurbesparingen en op de energiebesparingen. Deze besparingen op de investering konden worden gekwantificeerd. In deze paragraaf nog enkele verschillen opgenoemd die ten gunste of ten ongunste van de innovatieve oplossing werken.

- Transportkosten tussen opslag en distributiecentrum.
Door het distributiecentrum op de containerterminal te plaatsten kunnen de containers door het interne transport ondergronds (OBC) bij het distributiecentrum worden gebracht. De meeste distributiecentra in de Rotterdamse haven zijn meer landinwaarts gelegen, zoals te zien is in figuur 11.1. Op het kaartje is te zien dat de afnemers wel verder moeten rijden om de lading op te halen, waardoor de transportkosten van deze afnemers zullen toenemen. De transportkosten worden hier echter buiten beschouwing gelaten omdat deze bij de ketenkosten horen van een container en dus niet vertaald kunnen worden op een besparing.



Figuur 11.1: distributiecentra in de haven van Rotterdam

- **Bronbemaling en grondverzet**
Bij de uitvoering van de ondergrondse opslag is naar voren gekomen dat een open bouwput met bronbemaling een goede manier is om te bouwen. Bemalen is echter prijzig en dit zal dus nog bij de investering moeten worden opgeteld, evenals het grondverzet. Onder het grondverzet wordt verstaan het graven van een bouwkuip. Deze kosten werken dus ten nadele van de innovatieve oplossing.
- **Subsidies**
Bij innovatieve projecten kunnen er subsidies worden verworven. Daarnaast kan nog onderzocht worden of er subsidies zijn ten aanzien van milieubesparingen. Er treedt een energiebesparing op en de ruimte wordt efficiënter gebruikt. De hoogte van deze subsidies is onbekend.

11.5 Conclusies

De totale investering voor de aanlegkosten is bepaald. De investering voor de innovatieve oplossing is 40 miljoen gulden hoger. In de loop van de jaren hoeft er bij de innovatieve oplossing minder huur te worden betaald en hoeven er minder energiekosten. Deze jaarlijkse huurkosten die minder hoeven te worden betaald zijn voor 25 jaar en voor 50 jaar teruggerekend naar een contante waarde (naar het jaar van investering). Dit is ook gedaan voor de energiekosten. De kosten over 25 jaar zijn bij de innovatieve oplossing 14,25 miljoen gulden lager en over 50 jaar ongeveer 18,5 miljoen. Daarnaast is de investering van de koelinstallaties bij de innovatieve oplossing 2 miljoen gulden goedkoper.

Op grond van deze getallen kan worden geconcludeerd dat het verschil in aanlegkosten tussen de conventionele oplossing en de innovatieve oplossing groter is dan het verschil in uitgaven tussen de conventionele en de innovatieve oplossing over een periode van 25 of 50 jaar.

Indien de grond in de Rotterdamse haven zo schaars wordt dat de grondprijs harder omhoog gaat dan de aangenomen 2,5 procent per jaar. Wordt het verschil in huur groter en wordt de innovatieve oplossing kansrijker.

12 Conclusies

In dit onderzoek is de haalbaarheid van een ondergronds opslag- en distributiecentrum voor koelcontainers onderzocht. Bij het uitvoeren van dit onderzoek zijn zoveel mogelijk aspecten belicht die invloed kunnen hebben op de haalbaarheid. Tijdens het onderzoek is gebleken dat er veel aspecten zijn die een rol spelen en dat deze aspecten divers van aard zijn. Het is daarom onmogelijk geweest om elk aspect tot in detail uit te werken en hierdoor zijn er tal van aannames gemaakt die in een eventuele vervolgstudie nog onderzocht kunnen worden. Ten aanzien van het onderzoek naar de haalbaarheid van de ondergronds opslag en het distributiecentrum kunnen de volgende conclusies ten aanzien van de logistieke, de technische en de economische haalbaarheid worden getrokken:

Logistieke Haalbaarheid

De ondergrondse opslag voor koelcontainers heeft logistiek geen invloed op het algemene proces op een containerterminal, als het intern transport bovengronds en het interne transport ondergronds wordt losgekoppeld van elkaar. Een concept waarbij de container door een opening ondergronds wordt gebracht lijkt de beste oplossing. Ondergronds worden de koelcontainers getransporteerd met een bovenloopkraan. Het bouwen van een distributiecentrum onder of naast de opslag heeft een positief effect op de gemiddelde verblijftijd voor de koelcontainers.

Technische haalbaarheid

De ondergrondse opslag is technisch haalbaar. Er werken exceptioneel grote belastingen op het dak van de constructie, maar deze zijn met (gedeeltelijke) voorspanning op te vangen. De diepte van de ondergrondse constructie is zo diep, dat er trekpalen aangebracht moeten worden om de constructie niet te laten opdrijven. Een ondergrondse ruimte onder de bovengrondse opslag is de beste oplossing, omdat er nu geen dynamische belastingen op de ondergrondse constructie werken. Het distributiecentrum met vriescellen is eveneens haalbaar. Beton kan goed gebruikt worden onder lage temperaturen. Voor het staal in de cellen moet een staalsoort worden gekozen die temperaturen van -18° Celsius aankunnen zonder bros te bezwijken.

Economische haalbaarheid

Het verschil tussen de aanlegkosten voor een conventionele terminal met een bovengrondse koel- en vriesloods en een containerterminal met een ondergrondse opslag en een ondergrondse koel- en vriesloods is 40 miljoen gulden. De besparingen in de kosten die optreden door het afgenomen energieverbruik vallen tegen. Een oorzaak hiervoor is dat de buitentemperatuur in Nederland gemiddeld rond de 10° Celsius ligt. Wel kunnen de koelers op een veel lager vermogen worden gedimensioneerd omdat de koelers een op een nagenoeg constant vermogen kunnen koelen. Bij een hogere energieprijs wordt de besparing door het energieverbruik aanmerkelijk groter.

De ruimtebesparing bedraagt totaal 6,8 hectare, waardoor de jaarlijkse huurkosten bij de innovatieve terminal lager zijn. Deze lagere huurkosten wegen samen met het lagere energieverbruik en de besparing op het koelvermogen niet op tegen de hogere aanlegkosten. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het ondergronds opslag en distributiecentrum voor koelcontainers op basis van deze berekeningen niet haalbaar is. Indien er subsidies worden verstrekt, de grondprijzen en de energieprijzen meer dan gemiddeld toenemen, is het project mogelijk economisch haalbaar.

Koelcontainers onder de grond?

**Een haalbaarheidsstudie naar een ondergronds
opslag en distributiecentrum voor koelcontainers**



BIJLAGEN

Juli 2001


TU Delft

Koelcontainers onder de grond?

Een haalbaarheidsstudie naar een ondergronds opslag en
distributiecentrum voor koelcontainers

Niels A. Dekker
Juni 2001

Afstudeercommissie:

Prof. Ir. H. Ligteringen, (TU Delft, Civiele Techniek, WbK, Havens en scheepvaartwegen)

Ir. R. Groenveld, (TU Delft, Civiele Techniek, WbK, Havens en scheepvaartwegen)

Ing. A.P. van der Marel, (TU Delft, Civiele Techniek, M & C, Betonconstructies)

Ir. M. van Schuylenburg, (Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam)



Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Afdeling Waterbouwkunde
Sectie Havens en Scheepvaartwegen



Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
Afdeling Strategie & Communicatie
Corporate Development
Unit Logistieke Ontwikkeling

Bijlage I:

Geraadpleegde Literatuur

- Literatuur en informatiebronnen I-1
- Gesprekkenlijst I-4
- Correspondentielijst I-5

Geraadpleegde Literatuur, publicaties en informatiebronnen

- (1) Anoniem, *Alles in containers*
Maritiem Nederland, 1 mei 1997
- (2) H. du Mez, *Rotterdam reeferport, positie van de Rotterdamse haven in de markt voor koel – en vrieslading*
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Haveninnovatie, april 1998
- (3) H. du Mez & B van der Staij, *Ontwikkeling reefertransport en strategie Maersk in deze niche*
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Haveninnovatie, 13 maart 1997
- (4) <http://www.maersksealand.com>
Website van de rederij Maersk-Sealand
- (5) Anoniem, *World container census 2000*
Containerisation International, blz : 44-49
- (6) P. Jumelet, *Steeds meer fruit in containers, vervoer per reeferchip de goedkoopste oplossing*
Nieuwsblad Transport, 10 april 1998
- (7) Anoniem, *World Reefer Ports, Competition in the global cool chain*
Drewry Shipping Consultants, blz: 9-16, maart 1998
- (8) Anoniem, *Containeroverslag/TEU's Rotterdam 1969-1999*
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Haveninnovatie, 14 juni 2000
- (9) Anoniem, *2020 Integrale verkenning voor haven en industrie, Goederenstromenmodel 7*
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Haveninnovatie, augustus 1998
- (10) Anoniem, *Cijfers containeroverslag ECT*
ECT, oktober 2000
- (11) Anoniem, *Technische aspecten van het transport*
Dictaat Wb3406A, Inleiding Transporttechniek, TU Delft
- (12) B. van de Veire, *Innovatief kade-concept*
TU Delft, november 1996

- (13) Anoniem, *Developments in container handling technology, A Cargo Systems report*
Cargo Systems, blz 21-64, 1997

- (14) <http://www.kalmarind.com>
Website van het bedrijf Kalmar Industries

- (15) Anoniem, *Massale inzet van kranen uitdaging op terminal MSC*
Nieuwsblad Transport, 11 december 1999

- (16) D. Samwel, *De toekomst ligt onder de grond*
NRC Handelsblad 18-03-2000

- (17) Anoniem, *Verkenning Ondergronds Bouwen, literatuuronderzoek ondergrondse
bedrijfsmatige activiteiten.*
Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, Haveninnovatie, april 1998

- (18) <http://www.vbh.nl>
Website van het bedrijf Van Bennekem Hoekstra

- (19) <http://www.maerskbox.com>
Website Maersk Container Industri as (maakt deel uit van de A.P. Moller Group)

- (20) Anoniem, *Ontwerp: intensivering containeroverslag*
ECT, januari 2000

- (21) Prof. ir. H. Velsink, *Ports en Terminals*
Dictaat CTwa4330, TU Delft, februari 1997

- (22) Anoniem, *Gaat fruit ondergronds?*
Haskoning, 23 november 1995

- (23) M.A.W.M. van Hees, *Transportwerktuigen 1*
Dictaat HNO 109a, HR&O, september 1994

- (24) Prof. ir. A.L. Stolk, *Koudetechniek B*
Dictaat Wb4411, TU Delft, 1985

- (25) NEN 6720, *Voorschriften Beton TGB 1990*
Nederlands Normalisatie Instituut, 2^e druk, september 1995

- (26) NEN 6740, *Geotechniek, TGB 1990 basiseisen en belastingen*
Nederlands Normalisatie instituut, september 1993

- (27) Prof. ir. A.J. Hogeslag, *Informatiemap Algemene Constructie leer*
Informatiemap g1+g5, TU Delft, augustus 1994
- (28) Prof.dr.ir. J.C. Walraven, *College co3050 Gewapend Beton*
Dictaat CTco3050, TU Delft, oktober 1997
- (29) Ing. H.C. Jager, *Handleiding voor Ontwerpoefeningen in Beton*
Dictaat CTow3060, TU Delft, januari 2001
- (30) Prof.ir. CH.J. Vis, *Het bouwproces van betonconstructies*
Dictaat CTow4170, TU Delft, mei 1999
- (31) H.K.T. Kuijper, *Waterbouwkundige kunstwerken deel A Algemeen*
Dictaat CTwa3330, TU Delft, februari 1998
- (32) Prof.ir. A.F. van Tol, *Funderingstechnieken*
Dicaat g80/CTwa303, TU Delft, september 1996
- (33) Prof.ir. A.F. van Tol, *Funderingstechnieken en Ondergronds Bouwen*
Dictaat CTco5330, TU Delft, januari 2000
- (34) C.V.J. Dellino, *Cold en chilled storage technology*
ISBN 0 7514 0391 1, Hunstanton, UK, second edition 1997
- (35) CUR, *Aanbeveling 37 Hoge Sterkte Beton*
Redactionele bijlage bij Cement 1994, nr 5 (mei)
- (36) CUR, rapport 98-9 *Ontwerpregels voor trekpalen*
ISBN 9037603300, Gouda, 1998

Met de volgende personen hebben, tijdens mijn afstuderen, gesprekken plaatsgevonden

- (a) Hagen, W., Aveco (17 november 2000)
- (b) Kalee, W., Kloosterboer (28 november 2000)
- (c) Liebe, J., Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (21 september 2000)
- (d) Mackelenbergh, D.J.B van, Eurofrigo BV. (15 december 2000)
- (e) Terstegge, M., ECT (16 oktober 2000)
- (f) Vennink, E. Kloosterboer Fruitterminal (1 december 2000)
- (g) Willekes, M.J., TU Delft, werktuigbouwkunde (juni 2000)
- (h) Windhorst, M.P., Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (diverse data)
- (i) Zandee, M., Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (3 oktober 2000)
- (j) Vliet, D. van, Kloosterboer (3 juli 2001)
- (k) Keuzenkamp, A., NBM-Amstelland (diverse data)
- (l) Rijsenbrij, Prof. ir. J.C., TU Delft, werktuigbouwkunde (diverse data)
- (m) Hoof, F van, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (juli 2001)

Met de volgende personen en bedrijven is, tijdens mijn afstuderen, gecorrespondeerd

- (I) Igor Jovanovic, Norelco Industries Ltd.
- (II) Bill Fletcher, Precision Crane
- (III) Foad Sabet, Canadian Crane, Ontario, Canada
- (IV) Stephen J. Andrews, Wazee Crane, Denver, USA
- (V) Craig Maclean, Wolverine Crane & Service
- (VI) Brian Drabczyk, Kelly Sales
- (VII) Arjan Keuzenkamp, NBM-Amstelland

Bijlage II:

Macro-economische scenario's

- Global Competition Scenario II-1
- Divided Europe Scenario II-2

(Onderstaande tekst is ontleend aan "Goederenstromenmodel 7" dat deel uitmaakt van "2020, integrale verkenningen voor haven en industrie".)

Lange-termijnontwikkelingen zijn altijd omgeven met grote, fundamentele onzekerheden. Het Centraal Planbureau (CPB) heeft een drietal scenario's voor de lange termijn uitgewerkt, te weten: *Divided Europe (DE)*, *European Coördination (EC)* en *Global Competition*. Voor de kernthema's in deze scenario's onderscheidt het CPB hierbij een vijftal invloedrijke en onderling samenhangende factoren: internationale economisch-politieke ontwikkelingen, demografie, sociaal-culturele factoren, technologie en economie.

Voor deze factoren geeft het CPB algemene trends aan. Doordat het tempo en de uitwerking ervan per scenario verschillen, ontstaat tussen de scenario's de benodigde bandbreedte.

Het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam heeft in haar "Goederenstromenmodel 7" een prognose gedaan voor de ontwikkeling van de overslag in de Rotterdamse haven. Hierbij is gekozen voor een op de haven gerichte uitwerking van de twee meest van elkaar liggende scenario's. *Global Competition* en *Divided Europe*. Het eerste gaat uit van een gunstige economische ontwikkeling terwijl de tweede een stagnerende economie als leidraad neemt. Het derde scenario, *European Coördination*, bevindt zich binnen de bandbreedte van deze twee scenario's en is daarom niet verder uitgewerkt. In het navolgende volgt per scenario een beschrijving in hoofdlijnen.

Global Competition scenario

In *Global Competition* ligt de nadruk op een zeer dynamisch technologische ontwikkeling, sterke internationalisering en een grote rol voor het marktmechanisme. Het is het scenario met de hoogste economische groei in Europa en Nederland.

Ondanks een onverminderde economische integratie vindt er op EU-niveau, wegens gebrek aan consensus over de einddoelen, geen verdergaande politieke integratie plaats en geldt het model van "Europa à la carte": nieuwe leden kunnen toetreden mits ze voldoen aan een "acquis communautaire". Nationale belangen prevaleren, vanwege de beleidsconcurrentie tussen de staten.

De internationale handel bloeit, met een belangrijke rol voor transnationale, mondiale ondernemingen. Liberalisatie (van de telecom-, energie-, vervoer, bank- verzekering-, alsmede de arbeidsmarkt), deregulering en scherpe (inter)nationale concurrentie leiden tot een sterk economische dynamiek, met mogelijk belangrijke sociale gevolgen. *Global Competition* is het "survival of the fittest"-scenario met sterke individualiseringstendensen en een soberder ingerichte verzorgingsstaat. Wel krijgt de uitvoering van klassieke overheidstaken (onderwijs, openbaar vervoer, infrastructuur) meer accent, alsmede het bewaken van een goede marktwerking.

Op technologisch gebied onderscheidt *Global Competition* zich door een hoog groeitempo van het kennispotentieel en de diffusie en benutting ervan, mede als gevolg van de sterke ontwikkeling van de informatietechnologie. De "electronic highway" is "all pervasive", zowel sterk marktgericht als in het kader van "customization". De individualisering uit zich ook in het consumptiepatroon. Zelfbediening en "modularisering" spelen een hoofdrol in de consumptieve bestedingen. De productdifferentiatie en het aantal subculturen zijn groot. In de levensstijl zijn de materiele en hedonistische dimensies prominent aanwezig. *Global Competition* kent voor Nederland de hoogste economische groei (3,25% BBP-groei; in Europa 2,8%), de meest dynamische productiviteitsontwikkeling en ook de grootste stijging van de beroepsbevolking. In de kennisintensieve economie groeit de tertiaire dienstensector sterker dan de industrie.

Global Competition in hoofdlijnen

Internationale economisch-politieke ontwikkelingen

- Marktmechanisme dominant; scherpe internationale concurrentie; beleidsconcurrentie tussen nationale staten
- Nadruk op efficiency
- EU: Europa à la carte

Technische ontwikkeling

- Sterke groei kennispotentieel en kennisdiffusie; goede benutting kennispotentieel
- IT "all pervasive"; technische ontwikkeling ook sterk marktgericht

Sociaal-culturele ontwikkeling

- Enerzijds "wereldburgerschap", anderzijds sterke individualisering
- Grote mate van productdifferentiatie en materieel/hedonistische cultuur

Demografische ontwikkelingen

- (Im)migratiesaldo relatief laag
- Matige fertiliteit en geringe toename levensverwachting
- Bevolking 2020: 16,9 mln.

Economie

- Wereldwijde sterke BBP-groei (BBP-groei Ned 3,25%, Europa 2,8%)
- Sterke stijging particuliere consumptie
- Productstructuur sterk dynamisch; groter accent midden- en hoogwaardige activiteiten
- Arbeidsmarkt: lage werkloosheid; grote bestaansonzekerheid

Divided Europe scenario

In *Divided Europe* werkt noch het markt- noch het coördinatiemechanisme in Europa goed, en dit geldt zowel op nationaal als op internationaal niveau. Sociaal-economische problemen worden niet goed aangepakt, laat staan opgelost. De Europese concurrentiepositie verslechtert en de economische groei in Europa blijft achter bij die in Noord-Amerika en Azië.

In genoemde landenblokken is de economische groei wel sterk vanwege een zeer dynamische technologische ontwikkeling, liberalisering en sterke concurrentie. Zwakke economische groei, trage technische ontwikkeling, weinig ontplooiingsmogelijkheden op sociaal-cultureel gebied, geringe voortgang bij het oplossen van milieuproblemen typeren Nederland en Europa. Weinig voortgang wordt geboekt bij de verdere ontwikkeling van de interne markt, van de EMU en van een politieke unie. Antagonisme en nationalistische gevoelens spelen een sterke rol. In *Divided Europe* is in Nederland sprake van een geringe bevolkingsgroei (0,2% per jaar), een bescheiden volumestijging van het bruto binnenlands product (BBP, 1,5% per jaar), een matige toename van de arbeidsproductiviteit (1,5% per jaar), een relatief hoge inflatie (3,25%) en een aanhoudend hoge werkloosheid. Zowel het kennispotentieel als de benutting ervan ontwikkelen zich zwak.

Vanwege de bescheiden dynamiek vertonen het consumptie- nog het productiepatroon structurele veranderingen ten opzichte van de huidige situatie. De mainports Rotterdam en Schiphol laten een matige expansie zien.

Divided Europe in hoofdlijnen

Internationale economisch-politieke ontwikkelingen

- Coördinatieperspectief inefficiënt: marktmechanisme noch regelgeving werken goed
- EU: trage verdere integratie door nationale tegenstellingen en interne verdeeldheid (Europa van de wisselende coalities)

Technische ontwikkeling

- Trage ontwikkeling, diffusie en benutting van kennispotentieel

Sociaal-culturele ontwikkeling

- Prominente belangentegenstellingen (nationalisme, intolerantie)
- Consumptiepatroon/levensstijl min of meer als huidig

Demografische ontwikkelingen

- Laagste (im)migratiesaldo van de scenario's
- Relatief lage fertiliteit en levensverwachting
- Bevolking 2020: 16,2 mln.

Economie

- Sterke BBP-groei in N-Amerika en Azië; Europa blijft met een groei van 1,4% achter
- BBP-groei Nederland 1,5% per jaar
- Zwakke groei particuliere consumptie
- Productiestructuur verandert relatief weinig
- Arbeidsmarkt: relatief hoge werkloosheid

Ontwikkeling in de energiesector

Ontwikkelingen in de energiesector kunnen grote consequenties hebben voor de Rotterdamse haven. De overslag van ruwe olie, olieproducten en kolen is hiervan afhankelijk, alsmede het functioneren van de in het havengebied gevestigde raffinaderijen. Om de ontwikkelingen in de energiesector te kunnen beoordelen, heeft het GHR een eigen variant ontwikkeld die enigszins afwijkt van de visie van het CPB. Dit verschil van inzicht betreft met name het aandeel van de energiedragers olie, kolen en gas in het primaire energieverbruik. Het GHR schat het toekomstige aandeel van gas in het Global Competition scenario hoger en dat van olie en kolen lager in dan het CPB. Daarnaast is er ook enig verschil met betrekking tot de ontwikkeling van de energie-intensiteit als gevolg van de technologische vooruitgang en van energiebesparende middelen.

Door de ontkoppeling in het Global Competition scenario van de prijzen van aardgas en olie wordt aardgas relatief goedkoper. Daarnaast is aardgas aantrekkelijk door de lagere CO₂-emissies. Hierdoor wint het als energiedrager aan concurrentiekracht. De geplande gasleidingen (zoals tussen Noorwegen en Duitsland, Rusland en West-Europa en Groot-Brittannië en Duitsland) laten reeds een ontwikkeling in deze richting zien.

In de industrie worden dieselmotoren in toenemende mate vervangen door elektromotoren. Hierdoor neemt het aandeel van de elektriciteit in het finale energieverbruik toe. Juist in de elektriciteitsproductie vindt in het Global Competition scenario een belangrijke substitutie plaats van kolen door aardgas.

Het GHR gaat verder tot het jaar 2020 in het Global Competition scenario uit van een vermindering van de energie-intensiteit in Europa met gemiddeld 2,2% per jaar en van een vermindering met 1,2% per jaar in het Divided Europe scenario. Ter vergelijking: in de periode 1973-1990 is de energie-intensiteit in Nederland met gemiddeld 1,5% gedaald, terwijl deze daling in de periode 1990-1995 een kleine 1% per jaar bedroeg.

In de GHR energievariant daalt door deze ontwikkelingen het aandeel van kolen in de elektriciteitsproductie in het Global Competition scenario tot het jaar 2020 met de helft, terwijl in het Divided Europe scenario het aandeel licht daalt. Het aandeel van olie in het primaire energieverbruik daalt in het Global Competition scenario met 18% en blijft stabiel in het Divided Europe scenario.

Bijlage III:

***Toekomstverwachting van gecontaineriseerde
koel- en vrieslading***

Hieronder wordt een overzicht gegeven van de toekomstverwachtingen van de koel- en vrieslading. Het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR) heeft in haar Goederenstroommodel 7 (GSM7) een toekomstverwachting gegeven voor alle goederengroepen. Deze goederengroepen zijn ingedeeld in verschillende klassen en elke klasse heeft een eigen codering. Deze codering wordt ook wel "Goederenclassificatie NSTR" of "NSTR-codering" genoemd. Voor een volledig overzicht van de goederengroepen wordt verwezen naar (9). Goederengroepen volgens GSM7 die producten in koelcontainers vervoeren staan hieronder in tabel III.1

Tabel III.1: goederengroepen met producten in koelcontainers

GSM7-nr	Omschrijving GSM7-goederengroepen	NSTR-codering
2	Veevoedergrondstoffen, oliezaden, oliën en vetten, tapioca	17,18,0391
14	Landbouwproducten	02,06,09
15	Groente en fruit	03, behalve 0391
21	Vlees en vis	1410,142
22	Andere voedingsmiddelen	11,12,13,14, behalve 1410 en 1420, 16 behalve 1642
23	Bereidingen en conserven van fruit, bevroren fruit	1642

Er zijn veel producten die in koelcontainers worden vervoerd. In het algemeen zijn de grootste deelmarkten hierin, de deelmarkten groente en fruit, en vlees en vis. Omdat voor de andere goederengroepen geldt dat niet alle producten in koelcontainers worden vervoerd, is het voor deze goederengroepen moeilijk een schatting te maken welk deel wel in koelcontainers wordt vervoerd en welk deel in gewone containers of niet in containers wordt vervoerd. Daarom zal voor de toekomstverwachting alleen worden gekeken naar de goederengroepen 15 en 21. Voor deze goederengroepen is hieronder de toekomstverwachting gegeven voor het Global Competition scenario en het Divided Europe scenario. Allereerst is er de toekomstverwachting gegeven voor de gehele overslag van deze deelmarkten, vervolgens de containerisatiegraad en dan tot slot de toekomstverwachting van de gecontaineriseerde overslag van deze deelmarkten.

Uit de cijfers blijkt dat er een toename is te verwachten in de gecontaineriseerde overslag van deze deelmarkten.

Verder blijkt bij bestudering van de cijfers, dat het aandeel import ongeveer 60% is, het aandeel export 17% en de zee-zee overslag 23%.

Overslag koel en vrieslading in Rotterdam

(nettogewicht x 1 mln ton)

Nr:	Product	1992	2010		2020	
			GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	1,74	3,08	2,41	3,89	2,79
21	Vlees en vis	1,07	1,19	1,13	1,33	1,22

Onwikkeling van de aanvoer (excl. zee-zee)

(nettogewicht x 1 mln ton)

Nr:	Product	1992	2010		2020	
			GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	1,1	2,0	1,6	2,5	1,8
21	Vlees en vis	0,3	0,5	0,5	0,6	0,5

Onwikkeling van de afvoer (excl. zee-zee)

(nettogewicht x 1 mln ton)

Nr:	Product	1992	2010		2020	
			GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6
21	Vlees en vis	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Onwikkeling zee-zee-overslag

(nettogewicht x 1 mln ton)

Nr:	Product	1992	2010		2020	
			GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
21	Vlees en vis	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

**Ontwikkeling containerisatiegraad
bij de aanvoer (excl. Zee-zee)**

Nr:	Product	1992	2010	2020
15	Groente en fruit	20,30%	33,00%	33,00%
21	Vlees en vis	90,43%	90,43%	90,43%

**Ontwikkeling containerisatiegraad
bij de afvoer (excl. Zee-zee)**

Nr:	Product	1992	2010	2020
15	Groente en fruit	36,80%	36,80%	36,80%
21	Vlees en vis	72,50%	72,50%	72,50%

**Ontwikkeling containerisatiegraad
bij de zee-zee-overslag**

Nr:	Product	1992	2010	2020
15	Groente en fruit	85,70%	100,00%	100,00%
21	Vlees en vis	100,00%	100,00%	100,00%

**Ontwikkeling aantal tonnen in containers van de aanvoer
(nettogewicht x 1 mln ton)**

Nr:	Product	1992		2010		2020	
		GC	DE	GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	0,22	0,66	0,53	0,83	0,59	
21	Vlees en vis	0,27	0,45	0,45	0,54	0,45	

**Ontwikkeling aantal tonnen in containers van de afvoer
(nettogewicht x 1 mln ton)**

Nr:	Product	1992		2010		2020	
		GC	DE	GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	0,15	0,26	0,18	0,33	0,22	
21	Vlees en vis	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	

**Ontwikkeling aantal tonnen in containers zee-zee-overslag
(nettogewicht x 1 mln ton)**

Nr:	Product	1992		2010		2020	
		GC	DE	GC	DE	GC	DE
15	Groente en fruit	0,09	0,20	0,20	0,30	0,20	
21	Vlees en vis	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	

Totaal aantal tonnen	1,10	1,94	1,74	2,37	1,84
-----------------------------	------	------	------	------	------



Bijlage IV:

Berekening oppervlakte containeropslag en distributiecentrum

- Berekening oppervlakte containeropslag IV-1
- Percentage koelcontainers IV-3
- Verblijftijd koelcontainers IV-3
- Stapelhoogte containers en koelcontainers IV-4
- Berekening aantal containers in de opslag IV-5
- Berekening oppervlakte distributiecentrum IV-6

Deze bijlage behoort bij hoofdstuk 5 van het hoofdrapport. In deze bijlage staan de berekeningen waarin in hoofdstuk 5 van het hoofdrapport naar verwezen is. In dit hoofdstuk zijn een aantal aannames gemaakt. Deze aannames dienen samen als basis case. De berekening is gemaakt in een spreadsheet en de basis case is in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel IV.1: basis case

 Ingevulde velden (variabelen)
 Berekende velden

Omschrijving variabelen		Waarde	Eenheid
Totale jaarlijkse doorvoer containerterminal	Q	1.500.000	TEU/jaar
Percentage koelcontainers	P	11	%
Aantal werkdagen op containerterminal	Tw	365	dagen
Aantal werkdagen in distributiecentrum	Twd	300	dagen
Piekfactor	Fp	1,5	

Gewone containers

Doorvoer gewone containers	Qc	1.335.000	TEU/jaar
TEU-factor	Fteu	1,7	
Gemiddelde verblijftijd containers	Tc	5	dag(en)
Nominale stapelhoogte containers	Nc	4	containers
Gemiddelde stapelhoogte containers	Ncg	3	containers
Gemiddelde acceptabele bezettingsgraad v/d stack	m	0,7	
Empirische Factor oppervlakte TEU (incl. materieel)	Fc	8	m ² /TEU
Benodigde oppervlakte gewone containers	Oc	27,9	ha.

Koelcontainers

Doorvoer koelcontainers	Qr	165.000	TEU/jaar
TEU-factor	Fteu	2	
Gemiddelde verblijftijd koelcontainers	Tr	3	dag(en)
Gemiddelde verblijftijd koelcontainers naar distributiecentr.	Trd	3	dag(en)
Nominale stapelhoogte koelcontainers bovengronds	Nrb	2	containers
gemiddelde stapelhoogte koelcontainers bovengronds	Nrgb	1,8	containers
Nominale stapelhoogte koelcontainers ondergronds	Nro	2	containers
Gemiddelde stapelhoogte koelcontainers ondergronds	Nrgo	1,8	containers
Gemiddelde acceptabele bezettingsgraad v/d stack	m	0,7	
Empirische Factor opp. TEU (inc. Materieel) bovengronds	Frb	22	m ² /TEU
Empirische Factor opp. TEU (inc. Materieel) ondergronds	Fro	22	m ² /TEU
Percentage import koelcontainers	Pi	60	%
Percentage vrieslading	Pv	60	%
Percentage vrieslading naar distributiecentrum	Pvd	50	%
Aantal TEU ondergronds naar distributiecentrum	Qrod	29700	TEU/jaar
Aantal TEU ondergronds niet naar distributiecentrum	Qro	69300	TEU/jaar
Benodigde opp. koelcontainers bovengronds	Ob	1,89	ha.
Benodigde opp. koelcontainers ondergr naar distributie	Orod	1,04	ha.
Benodigde opp. koelcontainers ondergr niet naar distributie	Oro	1,99	ha.
Totale oppervlakte koelcontainers ondergronds	Or	3,03	ha.

Tabel IV-2: samenvatting berekende oppervlaktes bij basis case

Doorvoer gewone containers	Qc	1.335.000 TEU
Doorvoer koelcontainers	Qr	165.000 TEU
Benodigde oppervlakte gewone containers	Oc	27,87 ha.
Benodigde opp. koelcontainers bovengronds	Orb	1,89 ha.
Totale oppervlakte koelcontainers ondergronds	Oro	3,03 ha.

Samengevat komt de basis case neer op de waarden die in tabel IV.2 zijn gegeven. De totaalbenodigde oppervlakte voor de bovengrondse opslag is bijna 30 hectare en de totaal benodigde oppervlakte ondergronds ongeveer 3 hectare.

Een aantal factoren zoals de verblijftijd, het percentage koelcontainers en de stapelhoogte hebben invloed op de benodigde oppervlakte van de opslag voor containers. Deze invloeden worden hieronder beschouwd. Er wordt in principe altijd van de basis case uitgegaan, waarbij steeds 1 of 2 variabelen veranderen.

Bij de berekening van de opslag is van de volgende formule gebruik gemaakt⁽²¹⁾:

$$O = \frac{Q \cdot t_v \cdot F}{r \cdot t_{wd} \cdot m}$$

met:

- O : oppervlakte stack, inclusief materieel [m²]
- Q : jaarlijkse doorvoer [TEU]
- t_v : gemiddelde verblijftijd [dagen]
- t_{wd} : aantal werkdagen per jaar [dagen]
- F : oppervlakte per TEU, inclusief materieel [m²]
- m : acceptabele gemiddelde bezettingsgraad van de stack (0,65 – 0,7)
- r : gemiddelde stapelhoogte/nominale stapelhoogte (0,6 – 0,9)

Deze formule geeft een globaal oppervlak voor de opslag van containers, inclusief het materieel. Het gaat om een indicatie te krijgen en te kijken wat de invloeden van de factoren zijn. In de formule wordt gebruik gemaakt van de empirische factor F. Deze empirische factor is afhankelijk van het materieel dat gebruikt wordt om de containers op te slaan. In deze empirische factor is ook de stapelhoogte verwerkt. In tabel IV.3 staan de waarden die gebruikt zijn bij de berekening. Deze waarden zijn ontleend aan "Ports en Terminals"⁽²¹⁾. Hierbij is uitgegaan van Gantry Cranes of Overhead Bridge Cranes voor in de opslag, zowel bovengronds als ondergronds. Koelcontainers hebben iets meer ruimte nodig dan gewone containers omdat rekening moet worden gehouden met de aansluiting op het elektriciteitsnet.

Tabel IV.3: empirische factor F voor gantry cranes

	Nominale stapelhoogte	Aantal m ² /TEU inclusief materieel (F)
Standaard container	2	15 – 20
	3	10 – 13
	4	7,5 – 8
	5	6 – 8
Koelcontainer	1	35
	2	22
	3	14

Percentage koelcontainers

In hoofdstuk 2 en 5 is aangenomen dat het percentage koelcontainers in de toekomst naar 11% gaat. Hieronder zullen de resultaten worden gegeven van een hoger percentage koelcontainers. Daarbij wordt dus gekeken wat een hoger percentage koelcontainers betekent voor de totale oppervlakte van de containeropslag

Tabel IV.4: invloed percentage koelcontainers

Percentage koelcontainers	11%	12%	13%	14%	15%	
Doorvoer gewone containers	1.335.000	1.320.000	1.305.000	1.290.000	1.275.000	TEU
Doorvoer koelcontainers	165.000	180.000	195.000	210.000	225.000	TEU
Oppervlakte gewone containers	27,87	27,55	27,24	26,93	26,61	ha.
Oppervlakte koelcontainers bovengronds	1,89	2,07	2,24	2,41	2,58	ha.
Totale opp. koelcontainers ondergronds	3,03	3,3	3,58	3,85	4,13	ha.
Totaal benodigde opp. bovengronds	29,76	29,62	29,48	29,34	29,19	ha.
Totaal benodigde oppervlakte	32,79	32,92	33,06	33,19	33,32	ha.

De benodigde oppervlakte voor gewone containers wordt steeds kleiner, hetgeen logisch is daar er relatief minder gewone containers worden opgeslagen. De totaal benodigde oppervlakte bovengronds neemt iets af bij een toenemend percentage koelcontainers. De benodigde oppervlakte ondergronds neemt relatief echter veel toe, waardoor de totaal benodigde oppervlakte voor de opslag containers en koelcontainers iets groter wordt. De oorzaak hiervan is dat koelcontainers minder hoog worden gestapeld en ze meer ruimte nodig hebben dan gewone containers.

Verblijftijd koelcontainers

Voor de gemiddelde verblijftijd van gewone containers is in de basis case uitgegaan van 5 dagen. Dit volgde uit cijfers van de ECT. Voor koelcontainers is uitgegaan van 3 dagen. Omdat het distributiecentrum nu direct naast de opslag ligt, kunnen de koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan sneller worden behandeld. Als nu wordt uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van één dag voor de koelcontainers die naar het distributiecentrum op de terminal gaan, wordt de benodigde oppervlakte voor koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan, als volgt berekend:

$$O = \frac{Q \cdot t_v \cdot F}{r \cdot t_{wd} \cdot m} = \frac{29700 \cdot 1 \cdot 22}{0,9 \cdot 300 \cdot 0,7} = 0,35 \text{ ha.}$$

De overige import koelcontainers die ook ondergronds worden opgeslagen hebben wel een gemiddelde verblijftijd van 3 dagen. De benodigde oppervlakte voor deze containers blijft gewoon 1,99 ha. (zie ook tabel IV.1). De totale oppervlakte ondergronds is nu afgenomen met 0,69 ha. tot 2,34 ha. De verkorting van de gemiddelde verblijftijd heeft dus een gunstige invloed op de oppervlakte ondergronds. Er wordt voor gekozen de gemiddelde verblijftijd voor koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan op één dag te houden, omdat dit een aanzienlijke besparing oplevert in de ondergrondse opslag voor koelcontainers. Als deze aanname wordt verwerkt in tabel IV.4, waar gekeken is naar het percentage koelcontainers, wordt onderstaande tabel IV.5 verkregen.

Tabel IV.5: invloed percentage koelcontainers en verblijftijd koelcontainers

Percentage koelcontainers	11%	12%	13%	14%	15%	
Doorvoer gewone containers	1.335.000	1.320.000	1.305.000	1.290.000	1.275.000	TEU
Doorvoer koelcontainers	165.000	180.000	195.000	210.000	225.000	TEU
Oppervlakte gewone containers	27,87	27,55	27,24	26,93	26,61	ha.
Oppervlakte koelcontainers bovengronds	1,89	2,07	2,24	2,41	2,58	ha.
Totale opp. koelcontainers ondergronds	2,34	2,55	2,76	2,97	3,18	ha.
Totaal benodigde opp. bovengronds	29,76	29,62	29,48	29,34	29,19	ha.
Totaal benodigde oppervlakte	32,1	32,17	32,24	32,31	32,37	ha.

Te zien is dat de totaal benodigde oppervlakte niet veel toeneemt. Dit houdt in dat als er in eerste instantie wordt uitgegaan van 11% koelcontainers en dit percentage blijkt in de praktijk te laag te zijn, dit geen of weinig invloed heeft op de totaal benodigde oppervlakte. De ondergrondse opslag kan dan gewoon worden gedimensioneerd op de het eerst aangenomen percentage (11%). Als dit percentage toeneemt kunnen de extra koelcontainers bovengronds worden opgeslagen. Wel moeten er dan extra aansluitingen voor de koelcontainers komen.

Stapelhoogte containers en koelcontainers

De basis case gaat uit van vier hoog stapelen voor gewone containers en 2 hoog stapelen voor koelcontainers. Zoals in hoofdstuk 5 al naar voren kwam, kunnen koelcontainers ook 3 hoog worden gestapeld. Hoger stapelen betekent een kleiner benodigd oppervlak voor de opslag van containers. Indien de koelcontainers bovengronds (export en zee-zee) 3 hoog worden gestapeld wordt de benodigde oppervlakte:

$$O = \frac{Q \cdot t_v \cdot F}{r \cdot t_{wd} \cdot m} = \frac{66.000 \cdot 3 \cdot 14}{0,9 \cdot 365 \cdot 0,7} = 1.2 \text{ ha.}$$

Door de koelcontainers bovengronds dus 3 hoog te stapelen in plaats van 2 hoog, is het benodigde oppervlak voor de opslag van deze containers met meer dan 35% afgenomen. Bij export en zee-zee koelcontainers is het logistiek ook eenvoudiger om hoger te stapelen daar de koelcontainers die dezelfde bestemming hebben direct bij elkaar worden gezet, zodat er niet veel hoeft worden omgestapeld. Daarom wordt er voor gekozen de koelcontainers bovengronds 3 hoog te stapelen.

Ondergronds hoger stapelen betekent een diepere opslag, waardoor de krachten op de constructie toenemen, hetgeen dikkere wanden en een dikkere vloer betekent. De bouwkosten zullen toenemen bij een diepere opslag. Voorlopig wordt nog verder uitgegaan van 2 hoog stapelen ondergronds. In hoofdstuk 8 van het hoofdrapport is deze keuze verder onderbouwd.

Indien de stapelhoogte wordt verwerkt in tabel IV.5, wordt tabel IV.6 verkregen. Ten opzichte van de basis case zijn nu de volgende factoren veranderd:

- Verblijftijd koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan: 1 dag.
- Stapelhoogte van de koelcontainers bovengronds: 3 hoog.

Nu is te zien dat het percentage koelcontainers geen invloed meer heeft op de totaal benodigde oppervlakte voor de opslag. In vergelijking met de basis case, waar de totaal benodigde oppervlakte bovengronds en ondergronds 33 ha. was, is door deze veranderingen de totaal benodigde oppervlakte 31,4 ha. geworden. Vooral ondergronds is procentueel een grote besparing van het oppervlak ontstaan door de nieuwe aanname van de verblijftijd voor koelcontainers die naar het distributiecentrum gaan.

Tabel IV.6: invloed percentage, verblijftijd en stapelhoogte koelcontainers

Percentage koelcontainers	11%	12%	13%	14%	15%	
Doorvoer gewone containers	1.335.000	1.320.000	1.305.000	1.290.000	1.275.000	TEU
Doorvoer koelcontainers	165.000	180.000	195.000	210.000	225.000	TEU
Oppervlakte gewone containers	27,87	27,55	27,24	26,93	26,61	ha.
Oppervlakte koelcontainers bovengronds	1,21	1,32	1,42	1,53	1,64	ha.
Totale opp. koelcontainers ondergronds	2,34	2,55	2,76	2,97	3,18	ha.
Totaal benodigde opp. bovengronds	29,08	28,87	28,66	28,46	28,25	ha.
Totaal benodigde oppervlakte	31,42	31,42	31,42	31,43	31,43	ha.

Berekening aantal containers in de opslag

In het voorgaande is uitgegaan van een empirische formule om de oppervlakte te bepalen voor de opslag. Deze oppervlakte zegt nog weinig over het aantal containers dat in de opslag moet kunnen staan. Het aantal containers dat in de opslag moet kunnen staan kan als volgt bepaald worden:

$$N_{opslag,i} = \frac{Q_i \cdot t_i}{t_{wd}} \cdot f_p$$

Met:

- $N_{opslag,i}$: aantal containers van soort i in de opslag [TEU]
- Q_i : jaarlijkse doorvoer van containersoort i [TEU]
- t_i : verblijftijd in de opslag van containersoort i [dag(en)]
- t_{wd} : aantal werkdagen [dag(en)]
- f_p : piekfactor [-]

Voor de gewone containers bovengronds geldt nu het volgende:

$$N_{opslag} = \frac{1.335.000 \cdot 5}{365} \cdot 1,5 = 27436 \text{ TEU.}$$

Voor de koelcontainers bovengronds geldt:

$$N_{opslag} = \frac{66.000 \cdot 3}{365} \cdot 1,5 = 815 \text{ TEU.}$$

Voor de koelcontainers ondergronds die niet naar het distributiecentrum gaan geldt:

$$N_{opslag} = \frac{69300 \cdot 3}{365} \cdot 1,5 = 854 \text{ TEU.}$$

Voor de koelcontainers ondergronds die wel naar het distributiecentrum gaan geldt:

$$N_{opslag} = \frac{29700 \cdot 1}{300} \cdot 1,5 = 149 \text{ TEU.}$$

In de ondergrondse ruimte moet dus plaats zijn voor ruim 1000 TEU en bovengronds voor 28250 TEU.

Distributiecentrum

Op jaarbasis gaan er 15.000 koelcontainers naar het distributiecentrum. Dit komt overeen met 30.00 TEU, omdat de TEU-factor bij koelcontainers op 2 is aangenomen. In een 40 ft container gaan, afhankelijk van het soort pallet en de hoogte van de pallet, gemiddeld 22 tot 32 pallets. Uitgaande van gemiddeld 25 pallets in één 40 ft container worden er 375.000 pallets op jaarbasis opgeslagen.

Bij een verblijftijd van gemiddeld 14 dagen, 300 werkdagen per jaar en een bezettingsgraad van 80% kan het maximum aantal palletplaatsen worden berekend wat dat het distributiecentrum moet hebben:

$$N_{pallets} = \frac{Q_p \cdot t_p}{t_{wdd} \cdot m_p} = \frac{375.000 \cdot 14}{300 \cdot 0,8} \approx 22.000$$

Met behulp van een spreadsheet is een berekening gemaakt voor verschillende stapelhoogtes. In tabel IV.7 staat de spreadsheet weergegeven en in tabel IV.8 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel IV.7: berekening oppervlakte distributiecentrum

Doorvoer naar distributiecentrum	Qd	30.000 TEU	15.000 containers
Gem. aantal pallets in 1 container	Npall.	25 pallets	
Diepte palletstelling	d	1,35m	
Breedte palletstelling	b	1,2m	
Aantal werkdagen in distributiecentrum	twdd	300 dagen	
Verblijftijd vrieslading	td	14 dagen	
Bezettingsgraad	m	80%	
Stapelhoogte pallets	n	4 pallets	
Aantal pallets naar distributiecentrum	Qp	375000 pallets/jaar	
Aantal pallets in opslag	Ntot.	21875 pallets	
Aantal pallet plaatsen	N	5469 pallets	
Oppervlakte palletstelling	Astel.	1,62 m ²	
Oppervlakte pallets	Apal.	8859 m ²	
Verhouding pallets:ruimte materieel		1:1	
Oppervlakte palletstelling + gangpaden	Opm	17719 m ²	
Ruimte opstellen pallets en kantoren	Ok	1,5 ha.	
Totale oppervlakte binnen	Obi	3,3 ha.	
Oppervlakte buiten	Obu	1,5 ha.	
Totale oppervlakte distributiecentrum		4,8 ha.	

De stapelhoogte van de pallets is afhankelijk van o.a. de stapelhoogte van de koelcontainers ondergronds en het bereik van de vorkhef trucks. Vorkhef trucks kunnen vaak niet hoger stapelen dan 8 a 10 meter. De meeste distributiecentra zijn op deze hoogte gedimensioneerd. Indien de koelcontainers ondergronds 2 hoog worden gestapeld, kunnen de pallets in ieder geval 3 tot 4 hoog worden weggezet in rekken.

Bij het plaatsen van pallets in palletstellingen kan voor de verhouding opslag pallets en ruimte voor gangpaden voor de vorkhef trucks ongeveer 1:1 worden aangenomen^{(h)(23)}. Dit betekent dat als de pallets hoger worden gestapeld er dus ook minder gangpaden nodig zijn. In tabel III.8 is de benodigde oppervlakte voor verschillende stapelhoogtes gegeven. Naast ruimte voor de opslag van pallets en de gangpaden voor vorkhef trucks moet er nog ruimte worden gereserveerd voor het opstellen van de pallets, voor kantoren en voor

parkeerplaatsen. De ruimte voor het opstellen van pallets is nodig om pallets te kunnen klaarzetten als deze worden opgehaald. De vorkheftruck hoeft dan niet alle pallets afzonderlijk uit de opslag halen als de koelwagen al in het laadstation staat. Dit scheelt tijd met laden en lossen. De kantoren zijn nodig voor de administratieve afhandeling. Voor de kantoren en de opstelplaats voor pallets wordt uitgegaan van 1 à 1,5 hectare. Ook voor de parkeerplaatsen en de laadstations wordt voorlopig 1,5 hectare aangenomen.

Tabel IV.8: oppervlakte distributiecentrum (oppervlakte in hectare)

Stapelhoogte pallets	Palletstelling	Gangpaden	Kantoren/ opstelruimte	Parkeerplaats/ laadstations	Totaal
2	1,77	1,77	1,5	1,5	6,54
3	1,18	1,18	1,5	1,5	5,36
4	0,89	0,89	1,5	1,5	4,78
5	0,71	0,71	1,5	1,5	4.42

Bij een stapelhoogte van 4 pallets en tussenruimten voor vorkhef trucks en stellages om de pallets in te zetten is er voor de opslag ongeveer 1,8 hectare nodig en voor het hele distributiecentrum ongeveer 4,8 hectare. Bovenstaande afmetingen zijn slechts een orde grootte om een indicatie te krijgen. In hoofdstuk 8 bij het functioneel ontwerp worden de afmetingen precies bepaald.

Bijlage V:

Overzicht materieel en transporttechnieken

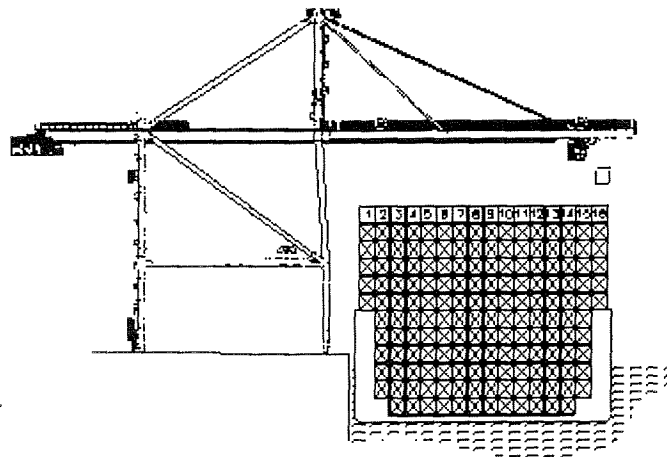
- Materieel V-1
- Transporttechnieken V-8

Materieel

Er bestaat een diversiteit aan materieel om de container over te slaan. Afhankelijk van de terminalgrootte, lokale omstandigheden en transporttechniek kan gekozen worden voor een bepaald type materieel of werktuig. In hoofdstuk 3 is al een beknopt overzicht gegeven van de verschillende werktuigen die voor kunnen komen op een containerterminal. In deze bijlage wordt een uitgebreider overzicht gegeven van het materieel op een containerterminal. De voor- en nadelen zullen worden belicht alsmede de functie van het werktuig op een containerterminal.

Kadekranen

Voor de overslag van containers van het schip naar de kade of omgekeerd worden speciale containerkranen gebruikt, ook wel supertainers of portainers genoemd. Een kadekraan heeft alleen een overslagfunctie. Een voorbeeld van dit type kraan is weergegeven in figuur V.1. Door de toenemende scheepsgrootte moeten deze kranen ook een steeds groter bereik hebben. De post-Panamax kranen die de gelijknamige schepen kunnen behandelen hebben een bereik van 45 meter vanaf de kade. Er zijn al kranen met een reikwijdte van 55 meter vanaf de kade, om zo de nieuwste, nog te bouwen, containerschepen te kunnen behandelen⁽¹³⁾. De kranen kunnen worden verreden in de langsrichting van de kade. Ze rijden op rails. Het laden of lossen van een container met een kadekraan duurt ongeveer 1 minuut. Afhankelijk van de efficiëntie worden er ongeveer 30 en 40 containers per uur gelost. Door verrijden van de kraan, rustpauzes, wisselingen van kraanbestuurders neemt de capaciteit van een kraan af⁽¹¹⁾. Op kleinere terminals, zoals binnenvaartterminals of terminals in feederhavens worden vergelijkbare kranen gebruikt, alleen een maatje kleiner.



Figuur V.1: post-Panamax kraan

Gantry Cranes

Gantry Cranes zijn portaalkranen die voornamelijk in de opslag van een terminal gebruikt worden of voor de overslag naar het spoor. De portaalkranen zijn er in twee uitvoeringen: de Rubber Tired Gantry crane (RTG) en de Rail Mounted Gantry crane (RMG).

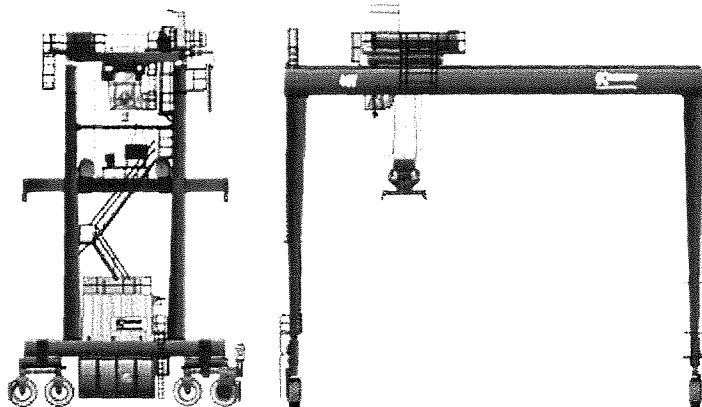
Rubber tired gantry crane

De rubber tired gantry crane (RTG) is een portaalkraan op rubber banden die voornamelijk in de opslag gebruikt wordt (zie ook figuur V.2). Een RTG kan zowel een transportfunctie vervullen als een overslagfunctie. De RTG, ook wel een transtainer genoemd, komt in verschillende afmetingen voor afhankelijk van de stackhoogte en -breedte. In onderstaande tabel staan mogelijke afmetingen gegeven voor een RTG⁽¹⁴⁾.

Tabel V.1: afmetingen rubber tyred gantry crane

Opties spanwijdte	5 + voertuigbaan	6 + voertuigbaan	7 + voertuigbaan
Spanwijdte	20,7 m	23,5 m	26,1 m
Opties Lifthoogte	1 over 3	1 over 4	1 over 5
Lifthoogte	12,2 m	15,2 m	18,2 m

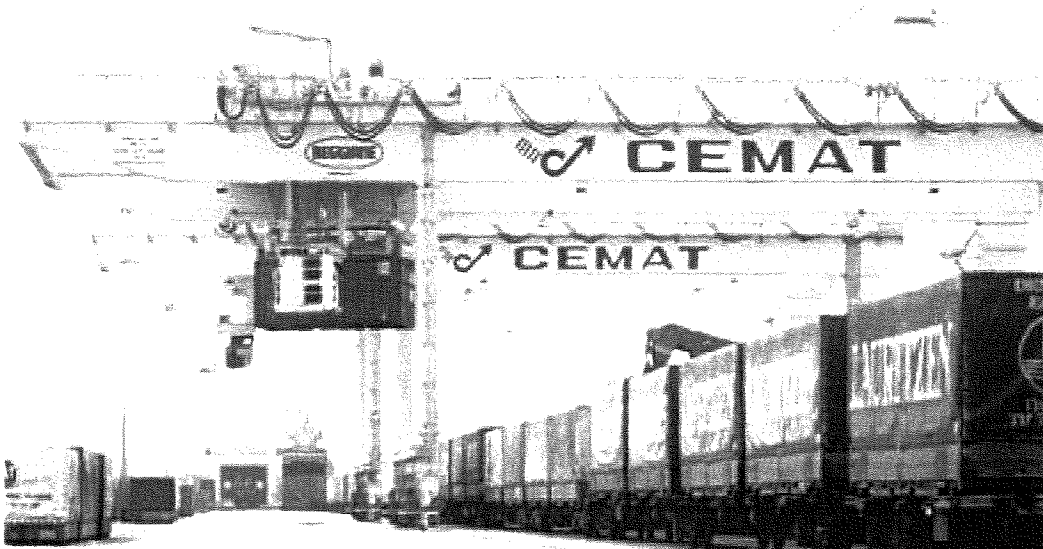
De meest voorkomende kranen kunnen 4 hoog stapelen en zijn 6 of 7 banen breed⁽¹³⁾. De opslagdichtheid is hoog omdat de kraan over meerdere rijen containers kan rijden, waardoor de ruimte tussen de containers minimaal is. De besturing van een RTG is niet automatisch en moeilijk, waardoor de rijsnelheid laag is, ongeveer 5 tot 8 km/h. De capaciteit is groot wanneer er weinig gereden wordt. Containers worden door een spreader aan staalkabels opgepakt⁽¹¹⁾.



Figuur V.2: rubber tyred gantry crane (RTG)

Rail mounted gantry crane

Dit type portaalkraan rijdt op rails en kan zowel automatisch als handmatig worden bediend, afhankelijk van de toepassing. Op de ECT terminal op de maasvlakte wordt het automatische type gebruikt in de opslag. Deze portaalkranen worden ook wel automated stacking cranes (ASC) genoemd. Een voorbeeld van een handbediende portaalkraan op rails kan gevonden worden op een rail service center (RSC, zie ook figuur V.3). Deze kraan wordt gebruikt voor de overslag van containers naar het spoor. RMG's kunnen een grote spanwijdte hebben. De grootste kan wel 20 containers breed zijn en 5 hoog stapelen, maar een standaard RMG heeft een spanwijdte van 14 containers⁽¹³⁾.



Figuur V.3: rail mounted gantry crane (RMG) op rail service center

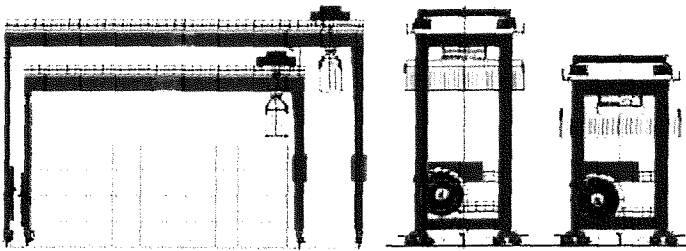
Enkele voordelen van een RMG ten opzichte van een RTG zijn⁽¹³⁾:

- RMG's hebben vaak een grotere spanwijdte en kunnen hoger stapelen dan RTG's waardoor de opslagdichtheid groter is.
- RMG's kunnen zich sneller verplaatsen dan RTG's. Dit komt vooral door de simpelere besturing van RMG's.
- RMG's zijn makkelijker te automatiseren.

Enkele nadelen van een RMG ten opzichte van een RTG zijn⁽¹³⁾:

- RMG's zijn veel minder flexibel dan RTG's, doordat ze alleen over rails kunnen rijden. RMG's zijn vaak gebonden aan één stack terwijl een RTG gemakkelijk van stack kan wisselen.
- RTG's zijn over het algemeen kleiner en lichter dan RMG's. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld funderingskosten lager uit vallen.
- Als er een verandering in de lay-out van de terminal plaatsvindt, bijvoorbeeld om de capaciteit te vergroten, betekent dat, dat de rails van de RMG eventueel moet worden verlegd. Bij gebruik van RTG's ontstaat dit probleem niet.
- RTG's zijn veel goedkoper dan RMG's.

In Hamburg worden op de nieuwe Altenwerder terminal twee Rail Mounted Gantry cranes op een stack ingezet. Deze RMG's kunnen elkaar passeren doordat de ene RMG kleiner is dan de andere. Dit is te zien in figuur V.4



Figuur V.4: twee RMG's op één stack.

Overhead bridge crane

De overhead bridge crane (OBC) is een nieuw type kraan voor in de opslag en voornamelijk de overslagfunctie vervult. Het is te vergelijken met een rail mounted gantry crane. De OBC is een volautomatische kat die op betonnen balken boven de grond rust. Op deze betonnen balken is rails gemonteerd waarover de kat heen en weer kan rijden. Op de Pasir Panjang terminal in Singapore is deze nieuwe techniek al toegepast (zie figuur V.5). Op de nog te bouwen MSC-terminal in Antwerpen gaat dit systeem toegepast worden.

De spreader hangt niet aan kabels maar aan vaste stalen stangen, zodat het windeffect wordt uitgeschakeld en er nauwkeurig gepositioneerd kan worden⁽¹⁵⁾. Hierdoor kunnen zelfs vrachtwagens automatisch geladen worden. Een nadeel van het systeem is dat herindeling van de terminal kostbaar is vanwege het afbreken van de betonnen geleiders.

Een voordeel van het systeem is dat er op het maaiveld geen dynamische belastingen zijn t.g.v. rijdend materieel.



Figuur V.5: OBC op Pasir Panjang terminal in Singapore

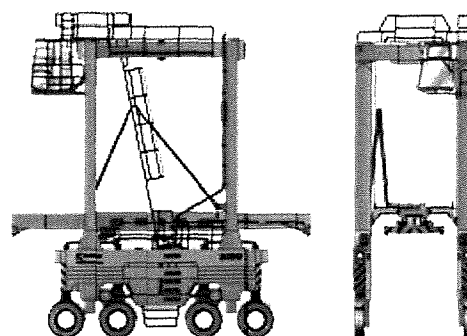
Straddle carrier

De straddle carrier (SC) is een voertuig dat speciaal is ontwikkeld voor op een containerterminal. Het kan zowel de overslagfunctie als de transportfunctie vervullen. De straddle carrier is een klein portaal op wielen dat over één container heen kan rijden (zie figuur V.6). De container wordt net zoals bij een gantry crane opgepakt met een spreader aan staalkabels en wordt door de straddle carrier in langsrichting vervoerd. De bestuurder zit bovenin en dwars op de rijrichting, wat de besturing erg moeilijk maakt. Een straddle carrier kan in geladen toestand 20 à 25 km/h rijden, wat veel sneller is dan een gantry crane. Straddle carriers worden gebruikt in de opslag maar ook voor het laden en lossen van containers op vrachtwagens, treinstellen en trailers⁽¹¹⁾.

Indien straddle carriers in de opslag worden gebruikt, zoals op de ECT Home Terminal in de Waalhaven, kunnen ze maximaal 4 hoog stapelen. De totale hoogte van de straddle carriers is dan bijna 16 meter. Als de straddle carriers alleen voor het laden en lossen van vrachtwagens wordt gebruikt, zoals op de Delta Terminal op de Maasvlakte, kunnen de straddle carriers lager worden uitgevoerd. Een straddle carrier is minder geschikt voor het laden en lossen van een trein.

Voor terminals met een jaarlijkse doorvoer van 150.000 TEU tot 3.000.000 TEU is een systeem dat gebruik maakt van straddle carriers het snelste alternatief. Dit komt omdat straddle carriers erg flexibel zijn en in combinatie met elk ander type materieel te gebruiken zijn⁽¹⁴⁾. Een ander voordeel is dat de container nauwkeurig kunnen worden gepositioneerd. Een nadeel is dat straddle carriers niet erg betrouwbaar zijn en dat er slechts één container vervoerd kan worden⁽¹¹⁾.

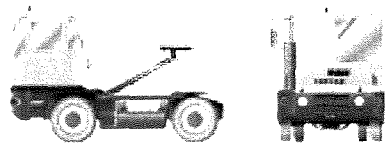
Een nieuwe ontwikkeling uit de hoge straddle carrier is de lage straddle carrier. Deze straddle carriers dienen uitsluitend voor het vervoer van de kade naar de opslag. Ze zullen worden toegepast op de nieuwe MSC-terminal in Antwerpen. Het grote voordeel van deze lage straddle carriers t.o.v. een AGV is dat ze zelf een container kunnen oppakken. Een ander voordeel t.o.v. een AGV is dat er minder van nodig zijn. De kadekraan kan de containers op de kade zetten, waardoor er zich een buffer kan vormen. Op dit moment wordt er onderzoek gedaan om deze voertuigen te automatiseren. Ze worden dan Automated Lift Vehicles (ALV) genoemd. Hoewel deze voertuigen nog niet bestaan worden ze wel in het onderzoek meegenomen.



Figuur V.6: straddle carrier (SC)

Terminaltrekker en terminaltrailers

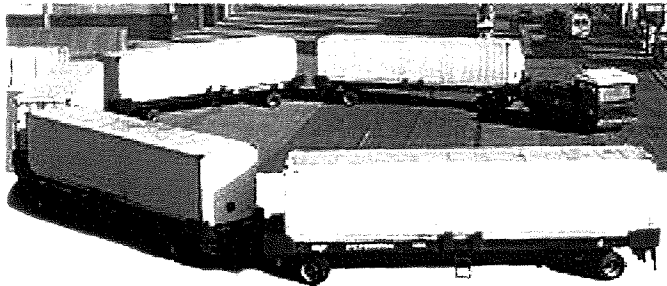
Een terminaltrekker in combinatie met één trailer vervult alleen de transportfunctie. De combinatie kan worden ingezet voor het interne transport op de containerterminal, d.w.z. het transport tussen de kadekranen en de opslag en het transport naar de achterlandverbindingen. De trailer heeft twee achterassen en geen vooras. De voorkant wordt ondersteund door de trekker. Een trailer kan 2 TEU vervoeren. Doordat de trailer een relatief goedkoop werktuig is kan bij een korte verblijfsduur van de container op de terminal de container op de trailer blijven staan⁽¹¹⁾. De trekker (zie figuur V.7) wordt meestal aangedreven door een dieselmotor en is lichter uitgevoerd dan een truck voor op de weg. De maximale snelheid is ongeveer 35 km/h. Met een terminaltrekker kan goed worden gemanoeuvreed. Andere voordelen van de combinatie terminaltrekker en terminaltrailer zijn dat de trailer snel is te ontkoppelen, dat de bestuurder van de terminaltrekker een goed zicht heeft naar opzij en naar achteren, dat de combinatie betrouwbaar is, flexibel is en een lange levensduur heeft. Een nadeel van de combinatie is dat er een ander werktuig aan te pas moet komen om de trailer te laden en te lossen. Deze manier van intern transport is vooral geschikt voor kleinere terminals. Op terminals met een grotere doorvoer wordt het zogenaamde multi trailer systeem gebruikt.



Figuur V.7: terminaltrekker

Multi trailer systeem

Een multi trailer systeem (MTS) heeft hetzelfde principe en dezelfde functie als de combinatie terminaltrekker en terminaltrailer, met het verschil dat de trekker nu meerdere trailers trekt (zie figuur V.8). De trekker heeft daardoor een grotere trekkracht en andere eisen ten aanzien van de manoeuvreerbaarheid en de koppeling met de trailers. De trailers hebben een bestuurbare voor- en achteras en zijn daardoor heel anders uitgevoerd dan een enkele trailer. De vooras van een trailer wordt aangestuurd door de trekstang van het voorgaande voertuig. De achteras is gekoppeld met de vooras zodat de achteras ook een stuuruitslag krijgt. Dit heeft als gevolg dat de trekker en de trailers nagenoeg dezelfde baan volgen.



Figuur V.8: multi trailer systeem (MTS)

In principe kunnen er 7 trailers achter de trekker geplaatst worden, maar gebruikelijk is dat er maar 5 trailers achter worden geplaatst. In het laatste geval is de hele trein ongeveer 80 meter lang en heeft de trein een minimum bochtstraal van 20 meter⁽¹¹⁾. Het grote voordeel van een multi trailer systeem is de grote capaciteit. De manoeuvreerbaarheid is echter minder goed dan bij een enkele trailer en ook hier moeten de trailers door een ander werktuig worden geladen en gelost.

Automated guided vehicle

Een Automated guided vehicle (AGV) is de nieuwste ontwikkeling voor het interne transport op een terminal. De AGV, ook wel automatisch geleid voertuig genoemd, is een onbemand voertuig voor transport van containers, hoofdzakelijk tussen de kadekraan de opslag (zie ook figuur V.9). De AGV vervult alleen de transportfunctie en heeft een ander werktuig nodig om te worden geladen en gelost. Ze worden tegenwoordig vooral toegepast op grote zeeterminals die 24 uur in bedrijf zijn, zoals de ECT terminal op de Maasvlakte. De AGV kent geen verschil tussen voor en achterkant en heeft twee assen met ieder twee bestuurbare wielen. De rijsnelheid van een AGV was in het begin vrij langzaam, ongeveer 10 km/h. Doordat de AGV harde banden heeft en geen vering is het dynamisch gedrag slecht en dit heeft invloed op de rijsnelheid. Een andere belangrijke reden voor deze lage snelheid is dat het communicatie-systeem van de AGV met de centrale niet snel genoeg is. Tegenwoordig kunnen AGV's sneller rijden, ongeveer 20 km/h. Bij grote aantallen AGV's kan er een grote capaciteit worden behaald op de terminal. De besturing van de AGV kan plaats vinden door middel van een coördinatenstelsel of een infraroodsysteem. Verder kan een systeem



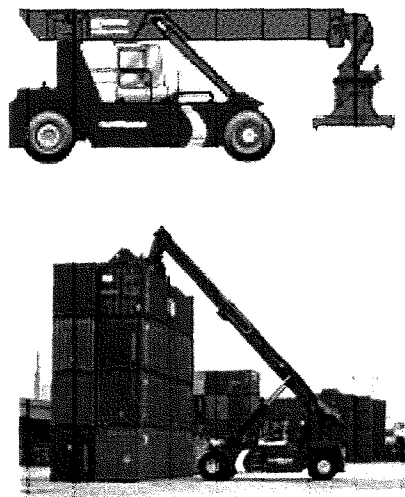
Figuur V.9: automated guided vehicle (AGV)

afhankelijk of onafhankelijk zijn. In het eerste geval wordt de positie van de AGV regelmatig doorgegeven aan de verkeersleiding en krijgt de AGV nieuwe commando's om zijn route te vervolgen. Bij het onafhankelijke systeem krijgt de AGV bij het begin van de rit de bestemming op en zonder ingreep van buiten rijdt hij daar naar toe⁽¹¹⁾.

Reachstacker

Reachstackers zijn sterke en zeer flexibele voertuigen die zowel de transportfunctie als de overslagfunctie kunnen vervullen. De reachstacker is een handgestuurd voertuig met een uitschuifarm (zie figuur V.10). Aan de arm hangt een spreader die 20ft en 40ft containers kan oppakken. Reachstackers kunnen worden ingezet in de opslag van een terminal. Vaak gaat het hierbij dan om een terminal met een kleine doorvoer. Verder worden ze gebruikt voor het laden en lossen van vrachtwagens en treinen. Het grote voordeel van een reachstacker is dat er over een voertuig of een container heen kan worden gewerkt, waardoor er een besparing in rijtijd kan worden verkregen. Een ander voordeel is dat de reachstacker een draaispreader heeft waardoor het voertuig niet loodrecht op de container hoeft te worden gepositioneerd. Een nadeel is dat er maar één container tegelijkertijd vervoerd kan worden⁽¹¹⁾. Reachstackers zijn er in verschillende uitvoeringen.

Er zijn reachstackers die containers tot 45 ton kunnen behandelen en er zijn reachstackers die alleen lege containers kunnen behandelen. De laatste groep is lichter uitgevoerd en kan over het algemeen hoger stapelen. Geladen containers kunnen maximaal 5 hoog worden gestapeld door een reachstacker en lege container 7 à 8 hoog⁽¹⁴⁾.



Figuur V.10: reachstackers

Forklift trucks en ander materieel

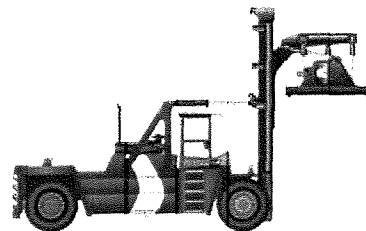
Forklift trucks, of vorkheftrucks, komen in verschillende soorten en maten voor. Ze worden vooral gebruikt op wat kleinere terminals en kunnen zowel lege als volle containers behandelen. Er bestaan ook werktuigen die groter zijn dan een forklift truck maar in principe dezelfde functies kunnen vervullen. Voorbeelden hiervan zijn de frontloader en de sideloader. Een aantal werktuigen zal hieronder worden beschreven. Elk werktuig heeft specifieke eigenschappen, maar voor allen geldt dat ze zowel de transportfunctie als de overslagfunctie kunnen vervullen.

Sideloader

Zoals de naam sideloader al zegt wordt de container aan de zijkant van het voertuig geladen. De container kan worden opgepakt met een topspreader of een zijspreader en wordt vervolgens op het voertuig gezet, waardoor de container tijdens het transport op het chassis van de sideloader rust. Vanwege de relatief hoge snelheid, 25 tot 40 km/h, is de sideloader geschikt voor het afleggen van grotere afstanden op de terminal. Naast het transporteren kan de sideloader containers stapelen in de opslag. Door de grote van de sideloader is er veel ruimte nodig tussen de rijen opgeslagen containers, waardoor de opslagdichtheid erg laag is. Verder wordt de sideloader aangedreven door een dieselmotor en kan het slechts één container tegelijk vervoeren⁽¹¹⁾. De sideloader is al een wat ouder voertuig en wordt op de terminal niet veel meer gebruikt. Goede alternatieven voor de sideloader zijn de reachstacker de frontloader of een multi trailer systeem.

Frontloader

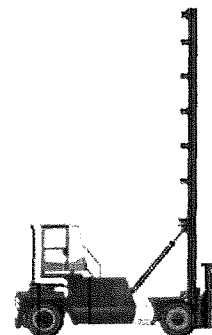
De frontloader lijkt veel op de sideloader maar dan met de hefinstallatie aan de voorkant van het voertuig (zie figuur V.11). De frontloader is ontwikkeld uit de kleinere vorkheftruck en kan geladen containers 3 tot 4 hoog stapelen. Ook hier kunnen de containers worden opgepakt met een topspreader of een zijspreader. De rijnsnelheid van de frontloader is lager dan die van de sideloader. Dit komt omdat de container niet rust op het voertuig maar aan een spreder hangt. Bij het gebruik van frontloaders in de opslag is er meer ruimte nodig dan bij het gebruik van sideloaders in de opslag⁽¹¹⁾.



Figuur V.11: frontloader

Empty container trucks

Lege containers op een terminal worden vaak hoger gestapeld dan geladen containers. De containers zijn lichter en de verblijftijd is langer. Op een containerterminal is vaak materieel aanwezig dat alleen geschikt is voor de behandeling van lege containers. Deze voertuigen zijn lichter uitgevoerd. Een voorbeeld van een voertuig dat alleen bedoeld is voor het stapelen van lege containers is de empty container truck (zie figuur V.12). Dit is een forklift truck die lege containers tot 8 hoog kan stapelen. De containers worden opgepakt door een zijspreader⁽¹⁴⁾.



Figuur V.12: empty container truck

Transporttechnieken

Voor het ontwerp van een terminal en de keuze van het materieel is geen eenduidige procedure vastgelegd. Afhankelijk van de doorzet van de terminal en de lokale omstandigheden kan gekozen worden voor een bepaalde transporttechniek om de containers over te slaan⁽¹¹⁾. Er kan onderscheid worden gemaakt in transporttechnieken die gebruik maken van geautomatiseerd materieel en transporttechnieken die gebruik maken van handbediend materieel.

Een belangrijk aspect bij de keuze van een transporttechniek en het materieel is dat het hele systeem op elkaar afgestemd moet zijn. Het heeft bijvoorbeeld geen zin om een snelle post-Panamax kraan te kiezen als de capaciteit van het interne transport naar de opslag niet toerijkend is.

Het doel van elke terminal is om zoveel mogelijk containers over te slaan tegen een zo laag mogelijke prijs. De tijd dat een containerschip aan de kade ligt wordt uit kostenoverwegingen geminimaliseerd. Dit betekent dat het schip zo snel mogelijk gelost en geladen moet worden, hetgeen weer betekent dat de kadekranen altijd op volle snelheid moet draaien. Er zijn allerlei ontwikkelingen om een schip sneller te laden en lossen. Systemen met een dubbel trolley systeem maar ook meer kranen per schip, zoals op de Ceres terminal in Amsterdam, is een mogelijkheid. Hier is op de containerterminal een insteekdok gemaakt waardoor er aan beide zijden van het schip kranen staan die het schip kunnen laden en lossen.

Om het laden en lossen van containers continu en zonder oponthoud te laten verlopen dient de capaciteit van het interne transport in ieder geval groter te zijn dan de capaciteit van de kadekranen die het schip lossen, zodat er ten alle tijden een AGV of een trailer klaar staat om de container op te zetten. De kadekraan kan de container eventueel ook nog op de kade zetten. Er moet dan een ander voertuig aan te pas komen om de container op het voertuig voor het interne vervoer te zetten of dit voertuig moet de container zelf kunnen oppakken en vervoeren, zoals een straddle carrier. Indien de containers op de kade worden gezet kan er zich een soort buffer vormen. Hierdoor zijn de kadekraan en het interne transport minder van elkaar afhankelijk.

Uit het overzicht van het beschikbare materieel op een containerterminal bleek al dat bepaalde type werktuigen meer geschikt zijn voor grote terminals en bepaalde werktuigen meer geschikt zijn voor kleinere terminals. De meer geavanceerde werktuigen, zoals een ASC, een RMG en een AGV, zijn vanwege de hoge investeringskosten eigenlijk alleen geschikt voor een containerterminal met een grote doorvoer en capaciteit. Voor terminals met een kleine doorvoer zijn de terminal trailers, straddle carriers, reachstackers en de forklift trucks meer in het voordeel.

Een goed uitgangspunt is om het aantal soorten werktuigen op een terminal te beperken. Dat maakt de bedrijfsvoering en het onderhoud eenvoudiger en goedkoper.

Aan de indeling van diverse terminals is te zien welke typen materieel goed gecombineerd kunnen worden op een terminal. Hieronder staan een aantal specifieke transporttechnieken beschreven op bestaande terminals. Zo zijn er terminals die geautomatiseerd zijn, maar ook terminals die gebaseerd zijn op straddle carriers of reachstackers.

Terminals met geautomatiseerd equipment

Terminals met een grote jaarlijkse doorvoer worden de laatste jaren steeds meer geautomatiseerd. De belangrijkste redenen voor het automatiseren van materieel zijn onder andere: besparing op de hoge arbeidskosten op lange termijn, vermindering van menselijke fouten en motivatieproblemen bij mensen en tot slot het bereiken van een terminal die 24 uur per dag in bedrijf is⁽¹³⁾. Voorbeelden van geautomatiseerde terminals zijn:

- ECT DDE, DDN en DDW terminals op de Maasvlakte
- MSC-terminal in Antwerpen
- Pasir Panjang terminal in Singapore
- Container Terminal Altenwerder in Hamburg
- Thamesport terminal aan de mond van de Thames bij Londen

ECT DDE, DDN en DDW terminal

De Delta Dedicated East (DDE) terminal en de Delta Dedicated North (vroeger Sealand) terminal zijn terminals op de Maasvlakte die geautomatiseerd zijn. Ook de Delta Dedicated West terminal, waarvan een deel al in gebruik is en een deel nog in aanbouw is, is volledig geautomatiseerd. Op al deze terminals wordt gebruik gemaakt van het ASC-concept. Dit wil zeggen dat in de opslag automated stacking cranes worden gebruikt. Hieronder volgt een beschrijving van het overslagproces en het bijbehorende materieel op deze terminals.

De containers worden geladen en gelost met portainers die schepen kunnen behandelen tot 18 containers breed. Het vervoer tussen de portainers en de zeezijde van de opslag wordt verzorgd door AGV's. In de opslag wordt gebruik gemaakt van automated stacking cranes.

Het vervoer van de containers vanaf de kade tot in de opslag is dus volledig geautomati-



Figuur V.13: DDN (vroeger Sealand) Terminal



Figuur V.14: Delta terminal op de Maasvlakte

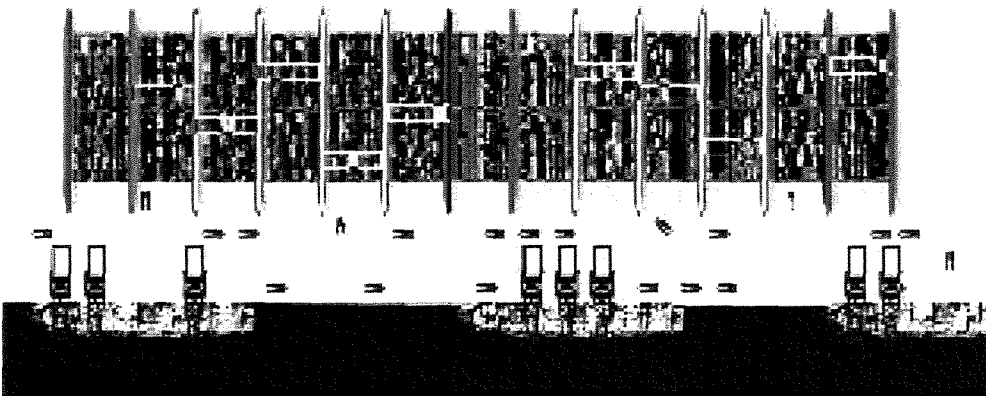
seerd (zie ook figuur V.13). Hier hoeven dus geen extra werktuigen aan te pas te komen. De portainer zet de container rechtstreeks op een AGV en de ASC haalt de container daar eenmaal aangekomen weer vanaf en plaatst de container in de opslag. Bij een landzijdig vertrek wordt de container uit de opslag gehaald met de ASC. De ASC zet de container op de grond aan de landzijdige kant van de opslag, waar deze wordt opgehaald door een straddle carrier. Indien de container per vrachtauto vertrekt zet de straddle carrier de container direct op de vrachtwagen. Indien de container naar het railservice center of de binnenvaartterminal moet, wordt de container door de straddle carrier op een MTS gezet die de container naar de betreffende terminal vervoert. Voor de overslag van de container van de MTS op de trein wordt gebruik gemaakt van een RMG. Het concept waarbij gebruik wordt gemaakt van automated stacking cranes heeft tegenwoordig een grote opslagdichtheid en is dus bij uitstek geschikt voor terminals met beperkte ruimte. Bij het eerste gebruik van deze kranen op de oude DSL terminal, was de opslagdichtheid nog niet zo hoog.

Op de DDE en de DDN terminal wordt nu 3 hoog gestapeld en op de DDW 4 hoog, waardoor er wel een hogere opslagdichtheid wordt verkregen. De capaciteit van de gehele Deltaterminal (zie figuur V.14) zal in 2006/2007 met een jaarlijkse overslag van 7,2 miljoen TEU aan de maximale capaciteit zitten. De ECT Dedicated terminal op de Maasvlakte is één van de weinige terminals in de wereld die 24 uur per etmaal operationeel is.

MSC-terminal in Antwerpen

De Mediterranean Shipping Company krijgt in Antwerpen haar eigen terminal, de MSC-terminal. Deze terminal is net zoals de ECT terminals op de Maasvlakte gedeeltelijk geautomatiseerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volautomatische overhead bridge crane. Het principe van de OBC is hetzelfde als die van de ASC, maar er zijn wezenlijke verschillen in het interne transport op deze terminal en in de landzijdige afvoer.

De containers worden geladen en gelost met kadekranen die twintig containers in de breedte op het schip aankunnen. De kadekraan zet de container op de kade en deze wordt opgehaald door een lage, snelle en handbediende straddle carrier die de container naar de opslag brengt en aan de zeezijde van de opslag neerzet. Per kraan worden één of twee straddle carriers ingezet. De volautomatische kat van de OBC pakt vervolgens de container op en brengt deze in de stack. De stack is 9 containers breed, 4 containers hoog en 34 containers lang (zie figuur V.15). Per stack worden er twee rolbruggen ingezet, waardoor de aflevering van de containers aan de landzijde door kan gaan als het aan de zeezijde druk is. De aflevering aan de landzijde wordt op afstand bestuurd (remote control). De kat kan de container gelijk op de vrachtwagen of een trailer zetten⁽¹⁵⁾.



Figuur V.15: MSC-Hessenatie terminal in Antwerpen

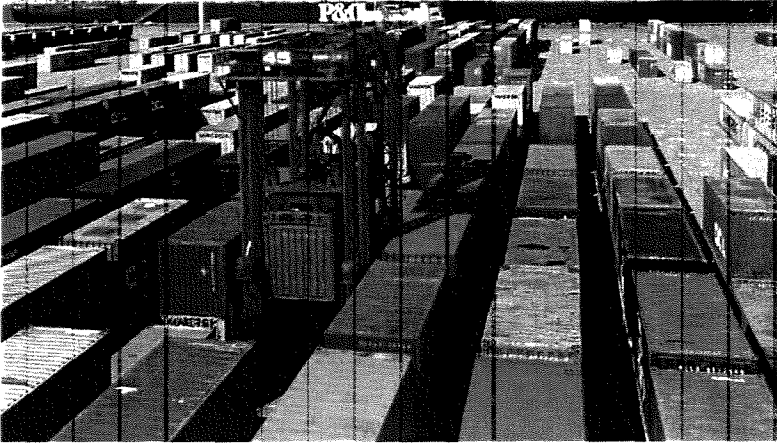
Ook bij dit concept heeft de terminal een grote opslagdichtheid, zelfs nog iets groter dan bij het ASC-concept. Deze terminal is ontworpen voor 1,6 miljoen TEU per jaar op een kade van amper 1260 meter lang.

Dit concept, ook wel het Overhead Bridge Crane concept is al eerder toegepast op de Pasir Panjang Terminal in Singapore. Hier kan zelfs tot 9 hoog worden gestapeld en worden de vrachtwagens niet aan een kopse kant geladen maar vindt er een zijdelingse belading plaats.

Terminals gebaseerd op het straddle carrier concept

Het straddle carrier concept is een klassiek concept wat nog op veel terminals wordt toegepast. Het concept houdt in dat de opslag op dit type terminal door straddle carriers wordt behandeld. De straddle carriers kunnen in de lengterichting over een rij containers heen rijden en tot maximaal 4 hoog stapelen. Voorbeelden van typische straddle carrier terminals zijn:

- DMU terminal op de Maasvlakte
- ECT Home terminal in Rotterdam
- De Ceres terminal in Amsterdam
- Containerterminal Bremerhaven



Figuur V.16: straddle carrier stack

De stacks van een terminal die met straddle carriers werkt, hebben een ander patroon dan stacks die behandeld worden met een ASC. De opslagdichtheid is minder groot, zoals te zien is in figuur V.16. Een voordeel van dit concept is dat het heel flexibel is. Een straddle carrier is niet aan één stack gebonden, hetgeen wel het geval is bij een ASC of een RMG. Hieronder volgen een aantal die gebaseerd zijn op het straddle carrier concept, maar allemaal net verschillend zijn.

DMU terminal

De Delta Multi User terminal op de Maasvlakte is de oudste containerterminal op de Maasvlakte. Deze terminal is in 1984 in gebruik genomen en werkt alleen in de opslag met straddle carriers. Voor het vervoer van de kade naar de opslag wordt gebruik gemaakt van het multi trailer systeem. De kadekraan zet de container rechtstreeks op een trailer. Als de multi trailer vol is dan wordt deze naar de stack gereden. De containers op de multi trailer worden vervolgens één voor één gelost door straddle carriers en in de stack geplaatst. De landzijdige afvoer wordt op dezelfde manier geregeld als op de eerder genoemde andere terminals op de Maasvlakte. De straddle carrier plaatst de container ofwel direct op een vrachtwagen ofwel op een MTS.

ECT Home terminal

Deze terminal ligt midden in de Rotterdamse haven. Door deze ligging midden in Rotterdam kan de terminal niet de grootste schepen behandelen. De terminal is ook gebaseerd op het straddle carrier principe en maakt ook voor het interne transport over de terminal gebruik van deze werktuigen (zie figuur V.17). De containers worden gelost door de kadekranen en op de kade neergezet. Straddle carriers komen de containers ophalen en vervoeren deze tot in de opslag. Ook de reclaiming, het uit de stack halen van containers, gebeurt door middel van de straddle carriers. Door de vorm van de haven is de opslag rondom de kade gesitueerd. Rechtsboven in de foto hiernaast is de Margriethaven te zien. Het achterste gedeelte hiervan is gedempt voor het creëren van extra opslagruimte voor containers.

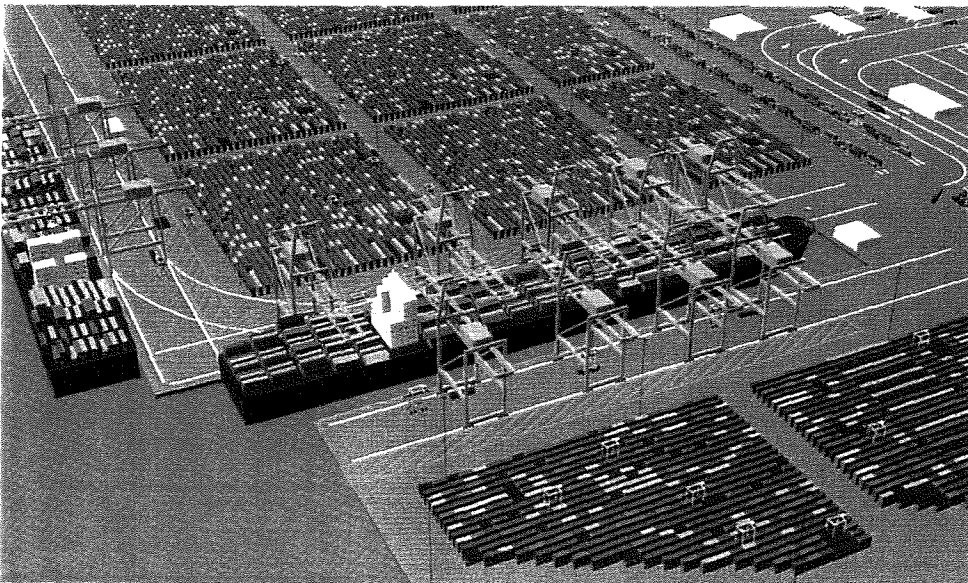


Figuur V.17: ECT Home terminal

Ceres Terminal Amsterdam

De Ceres Terminal in de haven van Amsterdam is nog in aanbouw en de verwachting is dat deze terminal medio 2001 operationeel is. Een nieuw aspect bij deze terminal wordt de insteekhaven (zie figuur V.18). De Ceres Terminal zal de eerste container terminal ter wereld zijn waar schepen gelijktijdig over beide zijden beladen en gelost kunnen worden waardoor de behandelingstijd tot 50% korter zal zijn dan op andere terminals. Bij deze nieuwe terminal is niet gekozen voor geautomatiseerd materieel, maar voor het straddle carrier concept. De containers worden vanaf het schip door de kadekranen op de kade gezet, waar ze opgepakt worden door straddle carriers. Het voordeel van het straddle carrier concept is dat de kranen bij het lossen onafhankelijk zijn van het interne vervoer. Indien er

met AGV's of met een MTS zou worden gewerkt, zouden er erg veel van deze werktuigen nodig zijn om een om een vlotte afhandeling te garanderen. Ook op deze terminal vindt de opslag plaats door middel van straddle carriers en verschilt deze dus niet van de hierboven genoemde ECT Home terminal.



Figuur V.18: Ceres Terminal in Amsterdam

Terminals gebaseerd op reachstackers en ander materieel

Kleinere terminals, zoals inland terminals en feeder terminals, maken vaak gebruik van reachstackers of ander klein materieel zoals frontloaders en forklift trucks. Deze terminals hebben een kleine jaarlijkse doorvoer. De ruimte die nodig is voor de opslag van de containers is bij gebruik van reachstackers relatief groter dan bij het gebruik van bijvoorbeeld straddle carriers. Dit komt door dat er meer ruimte nodig is om te manoeuvreren. Een typische indeling voor een opslag die gebruik maakt van reachstackers is gegeven in figuur IV.19 hieronder.



Figuur V.19: indeling volgens reachstecker-concept

Bijlage VI:

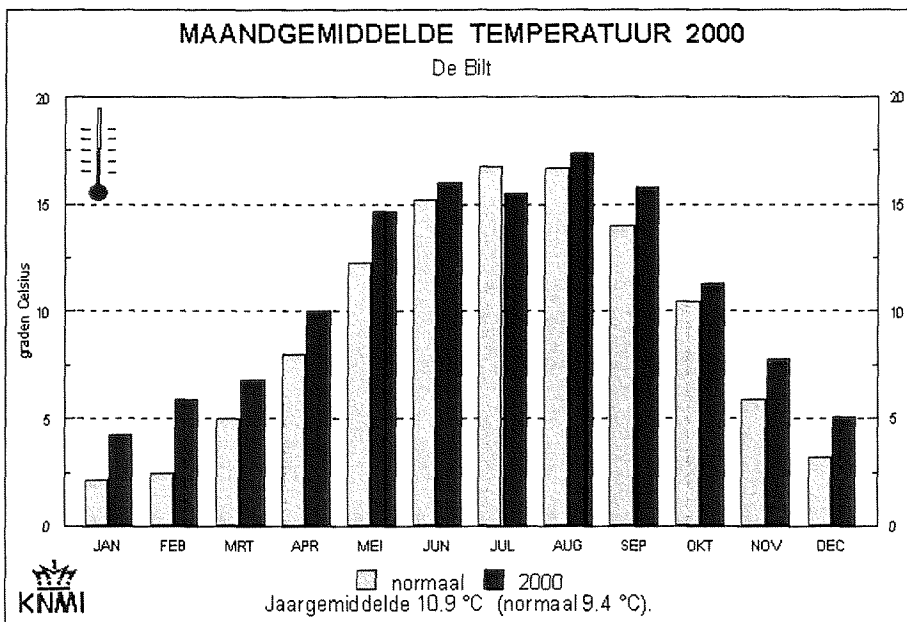
Temperaturen en energiebesparingen

- Temperaturen in Nederland VI-1
- Energiebesparing koelcontainers VI-2
- Energiebesparing distributiecentrum VI-4

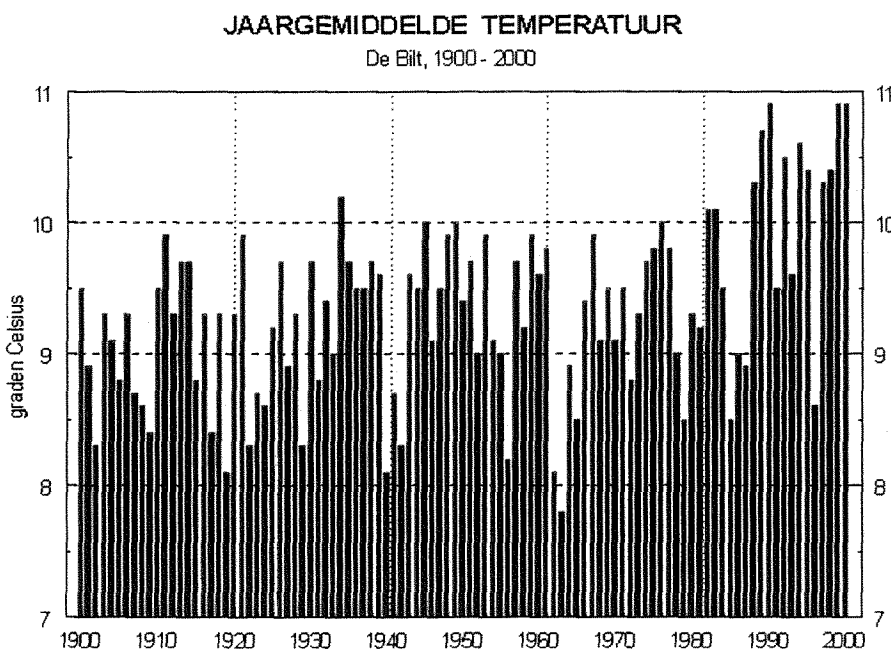
Temperaturen

Voor het berekenen van de eventuele energiewinst wordt uitgegaan van de temperaturen zoals weergegeven in de figuren VI.1 en VI.2 en tabel VI.1. Deze temperaturen en grafieken zijn ontleend aan het KNMI en Meteoconsult. In de figuren staan de temperaturen voor De Bilt en in de tabel voor De Bilt en Vlissingen.

In Nederland ligt de temperatuur in de zomermaanden gemiddeld vaak boven de 10 graden Celsius en in de winter vaak onder de 10 graden Celsius.



Figuur VI.1: maandgemiddelde temperatuur 2000 en normaal voor De Bilt



Figuur VI.2: jaargemiddelde temperaturen 1900-2000 voor De Bilt

Tabel VI.1: gemiddelde temperaturen voor De Bilt en Vlissingen

Temperatuur per maand	Bilt			Vlissingen		
	Gemiddeld	Zon duur	Zon %	Gemiddeld	1999	2000
Januari	2,8	52	20%	3,2	6,0	4,9
Februari	3,0	79	28%	3,3	4,6	6,3
Maart	5,8	114	31%	5,3	7,5	7,3
April	8,3	158	38%	8,0	9,9	9,6
Mei	12,7	204	42%	12,0	14,3	14,3
Juni	15,2	187	37%	14,9	15,7	16,0
Juli	17,4	196	39%	16,9	19,2	15,9
Augustus	17,2	192	42%	17,3	18,3	18,2
September	14,2	133	35%	15,3	18,1	16,9
Oktober	10,3	106	32%	12,0	11,9	12,5
November	6,2	60	23%	7,4	8,0	8,5
December	4,0	44	18%	4,6	5,8	6,3
JAAR	9,8	1524	34%	10,0	11,6	11,4

De waarden voor Vlissingen zijn gegeven omdat deze meer vergelijkbaar zijn met de waarden voor Hoek van Holland of de Maasvlakte. In de tabel is te zien dat in de maanden mei tot en met oktober de temperatuur gemiddeld hoger is dan 10 graden Celsius. Voor de energieberekening wordt alleen van de maanden uitgegaan waarbij de temperatuur hoger is dan 10 graden Celsius omdat dit een positief resultaat levert ten aanzien van het energieverbruik. De andere maanden worden als neutraal beschouwd.

Energiebesparing koelcontainers

In tabel VI.2 zijn enkele factoren bepaald die nodig zijn voor de energieberekening, zoals het aantal koelcontainers dat gemiddeld per maand in de opslag staat en de verblijftijden waarmee rekening is gehouden. In tabel VI.3 staan de absolute temperatuursverschillen tussen de ondergrondse ruimte en de bovengrondse ruimte en de energiebesparing in kWh. De energiebesparing per maand wordt verkregen door het warmteverlies van de koelcontainer te vermenigvuldigen met het absolute temperatuursverschil van de maand. Nu kan het aantal container met deze waarde worden vermenigvuldigd en met de verblijftijd van de container in uren. De formule ziet er nu als volgt uit:

$$E_{\text{voordeel}} = 0,04 \cdot \Delta T \cdot N_{\text{containers}} \cdot t_{\text{containers}}$$

Met:

- E_{voordeel} : het te behalen energievoordeel [kWh]
- 0,04 : warmteverlies van een koelcontainer per graad Celcius [kW/C⁰]
- ΔT : absoluut temperatuursverschil [C⁰]
- $N_{\text{containers}}$: gemiddeld aantal containers in de opslag [-]
- $t_{\text{containers}}$: gemiddelde verblijftijd van de containers in de opslag [h]

Hierbij is nog geen rekening gehouden met de invloed van wind of zon. Indien de zon schijnt moet rekening gehouden worden met maximaal 5 graden extra temperatuursverschil. Tabel VI.4 geeft tenslotte de energiewinst bij verschillende energieprijzen weer. Te zien is dat bij lage energieprijzen de jaarlijkse energiewinst erg klein.

Tabel VI.2: invoer factoren

Warmteverlies koelcontainer	35kcal/hC	0,04kW/C		
				Verblijftijd
jaarlijkse doorvoer ondergronds	99.000 TEU/jaar			
Naar distributiecentrum	29.700 TEU/jaar	2475 TEU/maand		1 dag(en)
Niet naar distributiecentrum	69.300 TEU/jaar	5775 TEU/maand		3 dag(en)
TEU Factor	2			

Tabel VI.3: temperatuursverschil in C° en energiebesparing in kWh

Temperatuursverschil	Bilt Gemiddeld	Vlissingen Gemiddeld	Vlissingen 1999	Vlissingen 2000
Mei	2,7	2,0	4,3	4,3
Juni	5,2	4,9	5,7	6,0
Juli	7,4	6,9	9,2	5,9
Augustus	7,2	7,3	8,3	8,2
September	4,2	5,3	8,1	6,9
Oktober	0,3	2,0	1,9	2,5
Energievoordeel kWh				
Mei	25943	19217	41317	41317
Juni	49965	47083	54770	57652
Juli	71104	66300	88400	56691
Augustus	69183	70143	79752	78791
September	40356	50926	77830	66300
Oktober	2883	19217	18257	24022
Totaal energievoordeel in kWh	259435	272887	360326	324774

Tabel VI.4: totaal energievoordeel per jaar in gulden bij verschillende energieprijzen

Energieprijs per kWh in gulden	Bilt Gemiddeld	Vlissingen Gemiddeld	Vlissingen 1999	Vlissingen 2000
0,05	fl 12.971,73	fl 13.644,34	fl 18.016,29	fl 16.238,68
0,10	fl 25.943,46	fl 27.288,68	fl 36.032,58	fl 32.477,37
0,15	fl 38.915,19	fl 40.933,01	fl 54.048,88	fl 48.716,05
0,20	fl 51.886,92	fl 54.577,35	fl 72.065,17	fl 64.954,74
0,25	fl 64.858,65	fl 68.221,69	fl 90.081,46	fl 81.193,42
0,30	fl 77.830,38	fl 81.866,03	fl 108.097,75	fl 97.432,11

Energiebesparing distributiecentrum

Koel- en vrieshuizen bovengronds zijn over het algemeen stalen constructies met een isolerende laag. Door het grote temperatuurverschil ten opzichte van de omgeving en het feit dat meestal weinig eisen aan de luchtvochtigheid gesteld worden is de dikte van de isolatie bij een vrieshuis vrijwel alleen bepaald door het economisch optimum⁽²⁴⁾. Britse en Europese ervaringen met koelen en vriezen heeft er toe geleid dat de meest economische dikte van isolatiemateriaal een maximaal warmteverlies toelaat van 8 kcal/m²/h door de totale oppervlakte van de muren, vloer en het plafond⁽³⁴⁾. Dit komt overeen met een maximale transmissie door de wanden van 9,2 W/m².

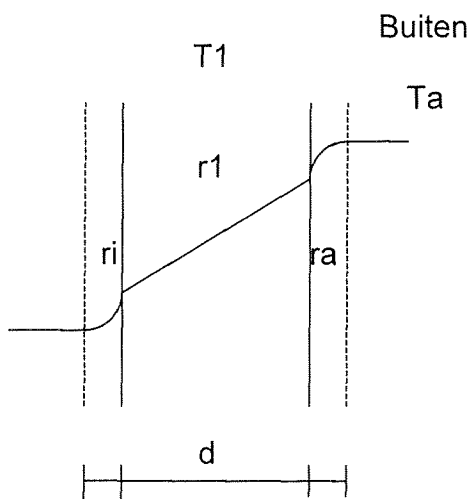
In deze studie is het vrieshuis ondergronds en bestaat uit een betonnen constructie. Er moet eerst worden nagegaan wat de isolatiewaarde van beton. Het warmteverlies door een betonconstructie hangt af van de dikte van de wand, de vloer of het dak.

Het warmteverlies q door de wanden kan als volgt worden berekend:

$$q = k \cdot \Delta T = \frac{\Delta T}{R},$$

waarbij k een constante is die afhangt van de dikte van de muur en ΔT is

het verschil tussen de temperatuur binnen en de temperatuur buiten. De temperatuursverdeling over de constructie kan worden geschematiseerd. Deze schematisering is weergegeven in figuur 11.3.



Figuur VI.3: temperatuurverloop over een betonnen wand

Het temperatuurverloop hangt af van de weerstand r van de betonnen wand en de overgangsweerstanden r_a en r_i . De overgangsweerstanden kunnen als volgt worden

berekend: $r_a = \frac{1}{\alpha_a}$ en $r_i = \frac{1}{\alpha_i}$, met α = warmte-overdrachtscoëfficiënt.

Met $\alpha_a = 17,5 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ en $\alpha_i = 5,8\text{-}8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ worden r_a en r_i respectievelijk 0,055 en 0,16.

De weerstand r volgt uit: $r = \frac{d}{\lambda}$ en hangt dus af van de dikte van de wand, het dak of de

vloer. De constante λ is de warmtegeleidingscoëfficiënt en is hier 2,0. De totale weerstand is de som van de overgangsweerstanden en de weerstand r : $R_{tot} = r + r_a + r_i$.

Nu wordt per constructieonderdeel de q -waarde berekend.

- De zijwanden zijn 0,6 meter dik: $r = \frac{0,6}{2} = 0,3 \Rightarrow$

$$R_{tot} = 0,3 + 0,055 + 0,16 = 0,515 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Als uitgegaan wordt van een grondtemperatuur van 10° Celsius en een binnentemperatuur van -18° Celsius dan is het temperatuursverschil over de wand ongeveer 28 graden.

$$q = \frac{28}{0,515} = 54,4 \text{ W/m}^2.$$

- De vloer is ongeveer 2 meter dik: $r = \frac{2}{2} = 1 \Rightarrow R_{tot} = 1 + 0,055 + 0,16 = 1,215 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$

Hieruit volgt: $q = \frac{28}{1,215} = 23 \text{ W/m}^2.$

- Het dak is ongeveer 0,45 meter dik: $r = \frac{0,45}{2} = 0,225 \Rightarrow$

$$R_{tot} = 0,225 + 0,055 + 0,16 = 0,44 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right].$$

Voor het temperatuursverschil over het dak moet de buitentemperatuur in rekening worden gebracht. Als er vanuit gegaan wordt dat de invloed van zon te verwaarlozen is door de containers die op het dak staan, dan kan voor de buitentemperatuur de gemiddelde temperatuur worden genomen. Deze wordt op 11 graden Celcius

aangenomen: $q = \frac{29}{0,44} = 66 \text{ W/m}^2.$

Voor de binnenwanden wordt een beter isolerend materiaal toegepast, vergelijkbaar met bovengrondse koelhuizen.

Geconcludeerd wordt dat voor alle constructiedelen geldt dat de warmtetransmissie door betonnen wanden groter is dan bij bovengrondse koelloods. Er wordt nu aangenomen dat er isolatiemateriaal wordt toegepast en dat de warmtetransmissie door de wanden ondergronds even groot is als door de wanden bovengronds. Dit komt neer op 0,23 à 0,3 W/m²C⁽²⁴⁾. De transmissie door de wanden en het dak kan nu op dezelfde manier worden bepaald als voor de koelcontainers. Er wordt gekeken naar het temperatuursverschil bovengronds en ondergronds. Ondergronds is de temperatuur constant en bovengronds wordt gerekend met de gemiddeld maandtemperatuur. Er wordt vanuit gegaan dat bij de vergelijking met een bovengrondse koelloods de oppervlaktes gelijk zijn. De totale oppervlakte van de wanden, het dak en de vloer is 15700 m². De totale transmissie wordt nu 3,6 kW/ °C. Als dezelfde energieprijis wordt aangehouden als bij de koelcontainers dan wordt op een totale besparing uitgekomen van ongeveer f 15.000,- per jaar. De berekening is weergegeven op de volgende pagina in tabel VI.5 en tabel VI.6. Dit is net als bij koelcontainers klein. De invloed van de zon is hier niet meegenomen in de berekening. Voor de zon wordt vaak 5 graden extra gerekend op de dakconstructie. Als dit wordt gedaan dan wordt op een hogere waarde uitgekomen.

Tabel VI.5: warmtetransmissie door wanden

Warmte transmissie door wand	0,23	W/m ² C
Oppervlakte wanden	2700	m ²
Oppervlakte plafond	6500	m ²
Oppervlakte vloer	6500	m ²
Totale oppervlakte	15700	m ²
Totale transmissie	3,611	kW/C

Tabel VI.6: energievoordeel

	De Bilt	Vlissingen		
	Gemiddeld	gemiddeld	1999	2000
	2,7	2	4,3	4,3
	5,2	4,9	5,7	6,0
	7,4	6,9	9,2	5,9
	7,2	7,3	8,3	8,2
	4,2	5,3	8,0	6,9
	0,3	2	1,9	2,5
Energievoordeel in kWh				
Mei	7254	5373	11552	11552
Juni	13970	13164	15314	16120
Juli	19881	18537	24717	15851
Augustus	19343	19612	22299	22030
September	11284	14239	21493	18537
Oktober	806	5373	5105	6716
	72538	76299	100478	90807
Energieprijs	0,15			
Totaal energievoordeel in guldens	fl 10.880,67	fl 11.444,85	fl 15.071,74	fl 13.620,98

Bijlage VII:

constructieve berekening

- Dimensioneren dak VII-1
- Dimensioneren wanden VII-13
- Dimensioneren kolommen VII-16
- Dimensioneren vloer VII-17

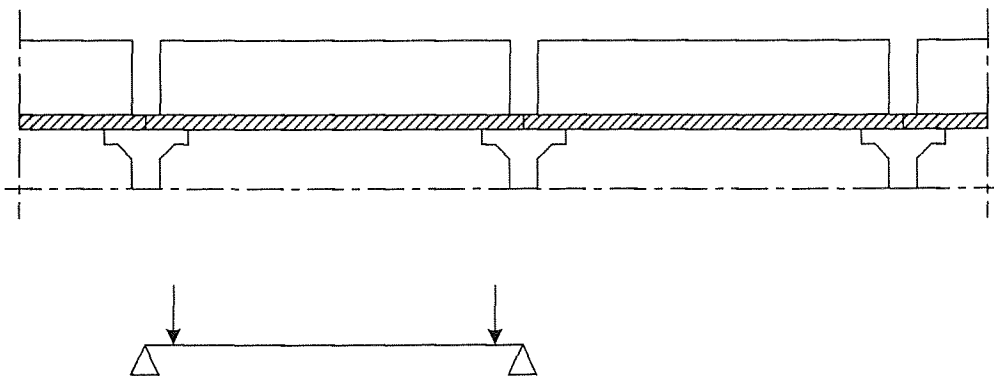
Deze bijlage behoort bij hoofdstuk 10 uit het hoofdrapport. In deze bijlage staan de berekeningen voor de dimensionering van de ondergrondse ruimte gedetailleerd uitgewerkt. Er wordt dezelfde volgorde aangehouden als in het hoofdrapport. Dit houdt in dat eerst de dakconstructie wordt ontworpen, vervolgens de wanden, de kolommen en tot slot de vloer van de ondergrondse ruimte. Voor het bepalen van de interne krachten is gebruik gemaakt van het programma MatrixFrame. In dit programma kunnen de onderdelen van de ondergrondse ruimte en de belastingen die hierop werken, worden geschematiseerd. Deze schematisering wordt voor elk onderdeel weergegeven. Het programma rekent voor elk belastinggeval de momenten, de dwarskracht, de normaalkracht en de oplegkrachten uit. Voor de dimensionering wordt in veel gevallen uitgegaan van de omhullende krachtenlijnen, daar deze in de meeste gevallen maatgevend zijn. In enkele gevallen wordt er met belastinggevallen afzonderlijk gerekend, daar een kleine belasting bijvoorbeeld ongunstiger is dan een grote belasting.

Dimensionering dakconstructie

De dikte van de dakconstructie hangt af voornamelijk van het type bovenbelasting. De mogelijke bovenbelastingen zijn in hoofdstuk 9 van het hoofdrapport beschreven, alsmede de belastinggevallen die maatgevend kunnen zijn. Er wordt vanuit gegaan dat de ondergrondse constructie volledig onder de ondergrondse opslag ligt, zodat er geen sprake is van dynamische belastingen op het dak van de constructie. Rem- en versnellingskrachten worden hierdoor buiten beschouwing gelaten. De volgende belastingen blijven over:

- bovenbelasting van de containers (veranderlijke belasting)
- bovenbelasting van de OBC (veranderlijke belasting + rustende belasting)
- sneeuwbelasting (veranderlijke belasting)
- eigengewicht dakconstructie (permanente belasting)

De schematisering van de bovenbelasting voor de container in de lengterichting staat weergegeven in figuur VII.1. De belasting door de OBC is wel meegenomen in de berekeningen, maar deze heeft geen invloed op het moment in de ligger daar de kracht in een steunpunt aangrijpt.



Figuur VII.1: schematisering containerlasten in de lengterichting van de containers

In deze schematisering is te zien dat de belastingen van de container vlak naast de kolommen aangrijpen. De afstand van de last tot het hart van de kolom is ongeveer 0,48 meter. Dit houdt in dat het moment ten gevolge van de containers gering zal zijn in deze richting, dit is te zien in figuur VII.2.

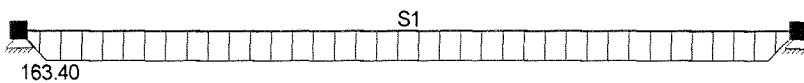
De omhullende momentenlijn staat weergegeven in figuur VII.3. De grootte van het maximale moment hangt hier af van het eigengewicht van de dakconstructie in deze richting. Voor de hoogte van liggers geldt de volgende vuistregel: $\frac{h}{l} = \frac{1}{10} - \frac{1}{12}$. Dit houdt in dat de hoogte van

de ligger bij een overspanning van 13 meter ongeveer 1,1 meter bedraagt. Het moment wat wordt geleverd door dit eigengewicht en de containerlasten bedraagt nu 914 kNm.

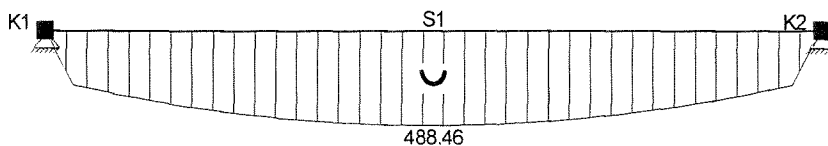
Deze hoogte wordt gecontroleerd aan de hand van de wapeningstabel voor buigende momenten (weergegeven in tabel VIII.1 van bijlage VIII). Bij een wapeningspercentage ω van

1 procent en een betonkwaliteit B35 volgt: $\frac{M_d}{bd^2 f_b'} = 185 \Rightarrow \frac{914}{1 \cdot d^2 \cdot 21} = 185 \Rightarrow d = 0,49 \text{ m}$.

De nuttige hoogte hoeft bij dit moment maar 0,49 meter te zijn. Er kan een kleinere hoogte worden aangenomen. Een kleinere hoogte betekent ook een kleiner eigengewicht en dus een kleiner moment. Na een aantal iteratiestappen wordt uitgekomen op een nuttige hoogte d van 0,35 meter. Er wordt nu voor de totale hoogte van 0,4 meter uitgegaan, daar er ook nog rekening gehouden moet worden met dekking van de wapening. Het moment dat nu optreedt bedraagt 488 kNm, dit is ook te zien in figuur VII.3.



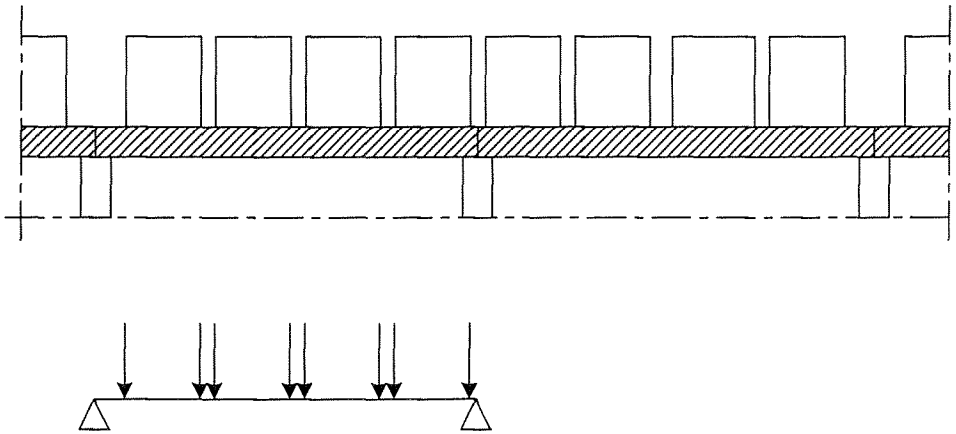
Figuur VII.2: momentenlijn ten gevolge van containerlasten (BGT)



Figuur VII.3: omhullende momentenlijn in de lengterichting van de containers.

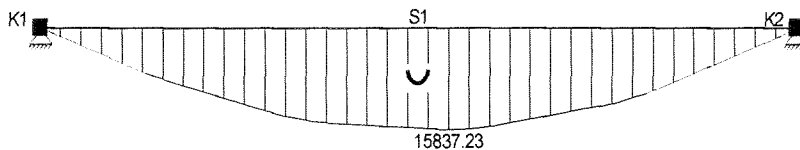
De schematisering van de containerlasten in de breedterichting van de containers staat in figuur VII.4. Op de overspanning werken nu meer lasten dan in de lengterichting. Op 1 overspanning staan 4 containers in de breedterichting, met elk 2 geconcentreerde lasten. Bovendien staan de uiteinden van 2 containers in de lengterichting dicht bij elkaar (zie figuur VII.1), zodat voor de bepaling van de krachten rekening gehouden moet worden met 2 geconcentreerde lasten achter elkaar. Deze 2 lasten worden geschematiseerd tot 1 last die de waarde heeft van 2 lasten. Elke last heeft nu een waarde van 680 kN. De gedeelte waar de lasten op werken wordt geschematiseerd als een ligger van 1 meter breed. Het moment is maximaal als alle belastingen maximaal op de ligger werken. De omhullende momentenlijn staat weergegeven in figuur VII.5. Het maximaal optredende moment in de doorsnede is 15837 kNm en is dus erg groot. Als wordt uitgegaan van een wapeningspercentage ω van 1 procent en een betonkwaliteit B35 volgt uit de wapeningstabel voor buigende momenten dat:

$$\frac{M_d}{bd^2 f_b'} = 185 \Rightarrow \frac{15837}{1 \cdot d^2 \cdot 21} = 185 \Rightarrow d = 2,0 \text{ m}$$



Figuur VII.4: schematisering containerlasten in de breedterichting van de containers

De benodigde nuttige hoogte d wordt nu 2,0 meter en de totale hoogte h ongeveer 2,2 meter. Een ligger van ruim 2 meter hoog is technisch wel mogelijk, al moet wel goed gekeken worden naar de uitvoeringsaspecten en naar de fysische eigenschappen van beton. Een ligger van 2,2 meter hoog is hier echter niet wenselijk, daar een hogere ligger dieper ondergronds bouwen betekent, en dat de krachten op de constructie dus toe zullen nemen.



Figuur VII.5: omhullende momentenlijn in de breedterichting van de containers

Net als de interne vrije hoogte ondergronds moet de dikte van het dak ook worden beperkt. Voor deze hoogtebeperking zijn een aantal mogelijkheden:

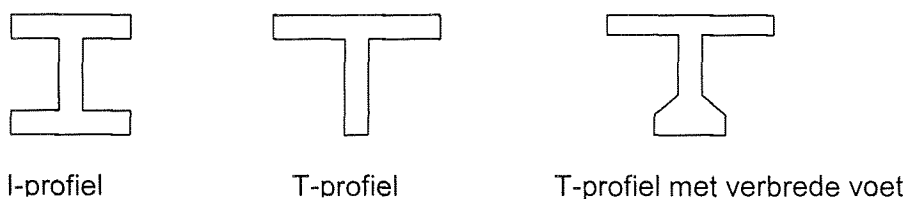
- De ligger- of balkbreedte breder maken.
- De balken uit het maaiveld laten steken.
- Voorspanning aanbrengen.

Door de balk breder te maken kan de hoogte gereduceerd worden. De hoogte zit echter kwadratisch in de formule en het verbreden van de balk of ligger is dan normaal gesproken niet effectief. Bovendien wordt de betondoorsnede groter, waardoor er meer beton nodig is. In dit geval betekent het echter wel dat de ondergrondse constructie minder diep komt te liggen en dat daardoor de krachten op de wanden en op de vloer reduceren. De bovengrondse OBC moet wel hoger worden gebouwd om de containers 4 hoog te kunnen stapelen.

Een andere mogelijkheid is om de balk iets boven het maaiveld te laten uitsteken. Hierdoor komen de containers iets hoger te staan ten opzichte van de containers die niet boven de ondergrondse opslag staan. Nu kan de balkhoogte van 2,1 meter worden genomen zonder dat de ondergrondse opslag veel dieper komt te liggen.

Tot slot kan er aan voorspanning gedacht worden. Met voorspanning is een reductie in de constructiehoogte te realiseren, doordat er in de ligger een extra drukspanning door middel van voorspanning is aangebracht. In het geval van voorspanning kan ook met geprefabriceerde elementen worden gewerkt.

Op basis van het voorgaande en de krachten die op het dak werken wordt gekozen voor de volgende constructie: De uiteinden van de containers rusten op liggers. Op deze liggers worden platen van 0,40 meter dikte aangebracht voor het dak. Op het midden van deze platen werken geen belastingen. Deze platen kunnen eventueel nog worden voorgespannen, maar dat wordt hier buiten beschouwing gelaten, omdat de reductie niet heel groot zal zijn. De belangrijkste functie van deze platen is dat de ondergrondse ruimte waterdicht is. De liggers steunen op de kolommen en zijn voorgespannen. Er kan gekozen worden voor geprefabriceerde voorgespannen liggers. Dit zijn statisch bepaalde liggers die worden opgelegd op de kolommen. Uitvoeringstechnisch is dit ook eenvoudiger te realiseren. De hoogte van voorgespannen liggers varieert meestal tussen 1/20 tot 1/35 van de overspanning (vuistregel). In dit geval zou dat betekenen dat de hoogte van de ligger tussen de 0,4 en 0,65 meter kan liggen. Er moet echter rekening gehouden worden met exceptionele belastingen, waardoor deze vuistregel niet gerechtvaardigd is. Er wordt een ligger ontworpen die de exceptionele belastingen kan opnemen. Er wordt vanuit gegaan dat de hoogte van de ligger wordt geminimaliseerd tot 1,3 à 1,4 meter. Een andere randvoorwaarde is dat de bovenkant van de liggers 1,5 meter breed moeten zijn om de containerlasten af te dragen (zie figuur VII.1). Er kan gedacht worden aan T-profielen of I-profielen (zie figuur VII.6). T-profielen worden over het algemeen toegepast bij statisch bepaalde constructies, waarbij het eigengewicht van de constructie (veel) groter is dan de veranderlijke belasting. De I-profielen daarentegen worden toegepast bij kleine overspanningen en met name wanneer de veranderlijke belasting aanmerkelijk groter is dan de permanente belasting.



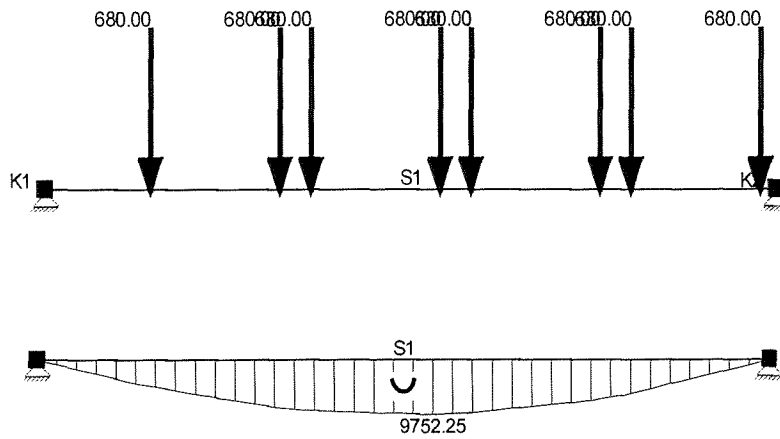
Figuur VII.6: mogelijke profielen voor voorgespannen liggers

Gewapende betonnen liggers worden gedimensioneerd in de uiterste grenstoestand. Voorgespannen liggers daarentegen worden gedimensioneerd in de bruikbaarheids grenstoestand (BGT). De belastingen die op de ligger werken zijn:

- Het eigengewicht van de ligger.
- Het eigengewicht van de dakplaten (rustende belasting).
- Belasting door de containers (veranderlijke belasting).

De momenten (BGT) in de ligger als gevolg van deze belastingen zijn als volgt:

- $M_{eg} = \frac{1}{8} q_{eg} l^2 = \frac{1}{8} \cdot 24 \cdot A_b \cdot 13^2 = 507 \cdot A_b \text{ kNm.}$
- $M_{rb} = \frac{1}{8} q_{rb} l^2 = \frac{1}{8} \cdot (13 \cdot 0,40 \cdot 24) \cdot 13^2 = 2636 \text{ kNm.}$
- $M_q = 9752 \text{ kNm, zie figuur VII.7.}$



Figuur VII.7: momentenlijn ten gevolge van containerlasten in bruikbaarheids grenstoestand

Bij volledig voorgespannen liggers mogen er geen trekspanningen optreden in elke belastingsituatie. Er zijn twee maatgevende belastingsituaties:

1) direct na het spannen. Nu werkt alleen het eigengewicht van de ligger: Er geldt:

$$\sigma_{bb} = -\frac{F_{pi}}{A_b} + \frac{F_{pi} \cdot e}{W_{bb}} - \frac{M_{eg,rep}}{W_{bb}} \leq 0 \frac{kN}{m^2}.$$

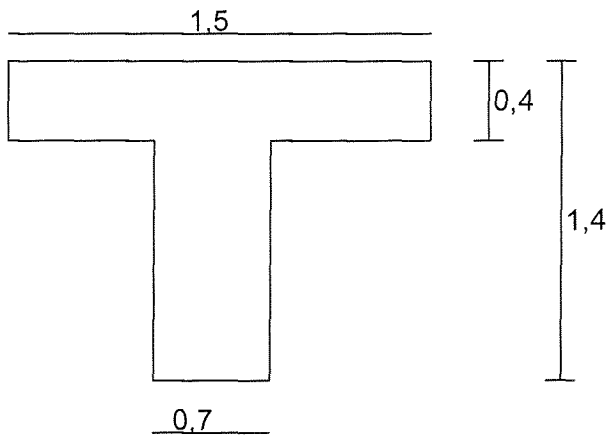
2) in de gebruikstoestand. Nu werken alle belastingen maximaal op de ligger: Er geldt:

$$\sigma_{bo} = -\frac{F_{pw}}{A_b} - \frac{F_{pw} \cdot e}{W_{bo}} + \frac{M_{rep}}{W_{bo}} \leq 0 \frac{kN}{m^2} \quad (\text{met } F_{pw} = 0,8F_{pi}).$$

Hierin is:

- σ_{bb} = spanning aan de bovenzijde van de ligger
- σ_{bo} = spanning aan de onderzijde van de ligger
- F_{pi} = initiële voorspankracht
- F_{pw} = werk voorspankracht
- W_{bb} = weerstandsmoment bovenzijde ligger
- W_{bo} = weerstandsmoment onderzijde ligger
- A_b = oppervlakte van de doorsnede

De voorspanverliezen worden aangenomen op 20 procent waardoor: $F_{pw} = 0,8F_{pi}$
 Er wordt nu een doorsnede beschouwd met om te zien welke voorspankrachten nodig zijn.
 Er wordt een T-ligger aangenomen die te zien is in figuur VII.8.



Doorsnede grootheden:

$$\begin{aligned}
 A_b &= 1,3 \text{ m}^2 \\
 z &= 0,823 \text{ m (vanaf onderkant)} \\
 z_o &= 0,823 \text{ m, } z_b=0,577 \text{ m} \\
 I_{zz} &= 0,225 \text{ m}^4 \\
 W_{bb} &= 0,39 \text{ m}^3 \\
 W_{bo} &= 0,273 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Figuur VII.8: doorsnede voorgespannen ligger

Er wordt gerekend met betonkwaliteit B65 en met voorspanstaal FeP1860. Als de doorsnede grootheden en de krachten worden ingevuld in de opgestelde formules dan volgt:

$$\sigma_{bb} = -\frac{F_{pi}}{1,3} + \frac{F_{pi} \cdot e}{0,39} - \frac{507 \cdot 1,3}{0,39} \leq 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow e \leq \frac{660}{F_{pi}} + 0,3$$

$$\sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot F_{pi}}{1,3} - \frac{0,8 F_{pi} \cdot e}{0,273} + \frac{660 + 2636 + 9752}{0,273} \leq 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow e \geq \frac{16310}{F_{pi}} - 0,21$$

De voorspanning is het meest effectief als de excentriciteit e groot is. De maximale excentriciteit e wordt aangenomen op 0,65 meter. Voor de voorspankrachten bij beide criteria volgt nu respectievelijk: $F_{pi} \leq 1886 \text{ kN}$ en $F_{pi} \geq 18965 \text{ kN}$.

Dit is onmogelijk en in strijd met elkaar. Voor de situatie dat alleen het eigengewicht als belasting voorkomt, mag de voorspankracht niet groter zijn dan 1886 kN, anders treden er aan de bovenkant trekspanningen op. Voor de situatie dat alle belastingen vol op de ligger werken, is er een voorspankracht nodig van minimal 18965 kN, anders treden er aan de onderzijde van de ligger trekspanningen op. De oorzaak van dit grote verschil zit in het feit dat er extreem hoge veranderlijke belastingen optreden.

Voorgespannen liggers worden over het algemeen gebruikt bij constructies met naar verhouding een groot eigengewicht ten opzichte van de veranderlijke belasting, zoals bruggen met een grote overspanning. In dit geval is de veranderlijke belasting erg hoog ten opzichte van het eigengewicht. Met een hoge slanke ligger zou het beter mogelijk zijn deze veranderlijke belastingen op te nemen. Hierdoor neemt het traagheidsmoment I_{zz} toe. Een hogere constructie is echter niet gewenst dus zullen er andere maatregelen moeten worden genomen. Mogelijke maatregelen zijn o.a.:

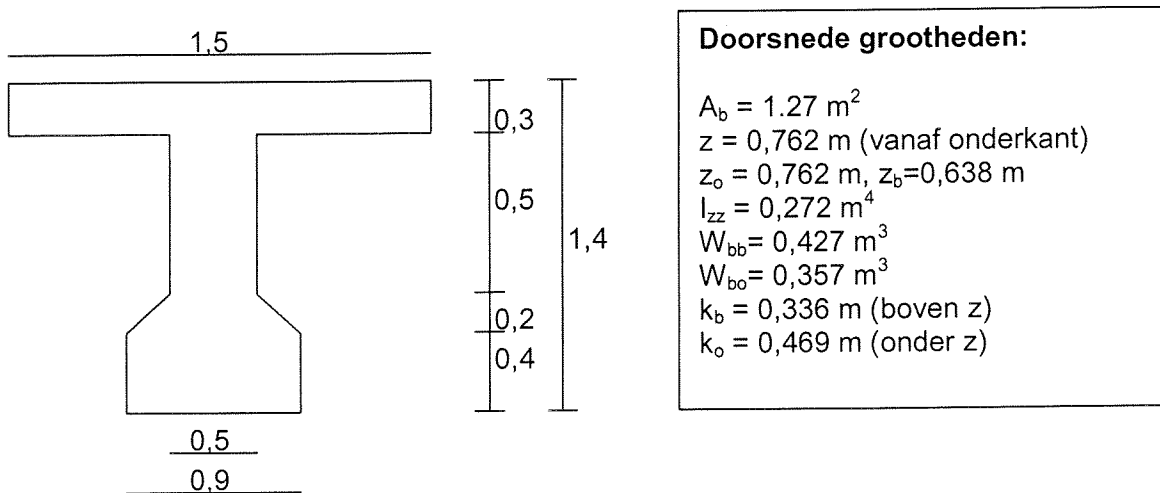
- Traagheidsmoment I_{zz} vergroten.
- Zwaartelijns van de constructie omlaag. Hierdoor neemt W_{bb} af en W_{bo} toe.
- Voorspanning voor eigengewicht en voorspanning voor veranderlijke belasting scheiden.

De eerste twee maatregelen hebben direct invloed op de constructie. Door een T-ligger met een verbrede voet te maken, wordt de zwaartelijn in de constructie verlaagd.

De derde maatregel houdt in dat de voorspanning voor de veranderlijke belasting met een kleinere excentriciteit in de constructie wordt gelegd. Als deze voorspanning zodanig in de constructie wordt gelegd dat de voorspanning in de kern van de constructie ligt, dan levert deze voorspanning, ongeacht de grootte, over de gehele hoogte van de constructie een drukspanning. De excentriciteit is nu echter erg klein waardoor er een grote voorspankracht

nodig is en dus veel voorspankabels. Deze mogelijkheid van voorspannen wordt nu hier onderzocht.

De doorsnede die beschouwd is wordt aangepast. De bovenflens wordt 100 mm dunner gemaakt en er wordt een verbrede voet bij de T-ligger aangebracht, zodat de zwaartelij van de constructie omlaag gaat. In figuur VII.9 is de nieuwe doorsnede van de ligger gegeven.



Figuur VII.9: aangepaste doorsnede voorgespannen ligger

Het traagheidsmoment is groter geworden, de zwaartelij is gezakt ten opzicht van de eerste ligger en de weerstandsmomenten zijn ook groter geworden. De voorspanning wordt gescheiden aangebracht. Dit houdt in dat de voorspanning om alleen het eigengewicht op te nemen met een maximale excentriciteit (e_{max}) kan liggen in de doorsnede en de voorspanning voor het opnemen van de veranderlijke belasting moet binnen de kern liggen. De voorspanning verloopt over het algemeen parabolisch. De voorspanning voor het eigengewicht wordt parabolisch aangenomen en de voorspanning voor de veranderlijke belasting wordt binnen de kern gehouden en wordt recht aangenomen. De maximale excentriciteit wordt geschat op 0,6 meter en de maximale excentriciteit binnen de kern volgt uit de ligging van de kern. Het onderkernpunt ligt 469 mm van de kern af en voor de excentriciteit van de voorspankabels in de kern wordt 0,40 aangenomen (zwaartelij van de voorspankabels).

De voorspanning om het eigengewicht te compenseren wordt $F_{pi}(1)$ genoemd en moet

$$\text{voldoen aan: } \sigma_{bb} = -\frac{F_{pi}(1)}{1,27} + \frac{F_{pi}(1) \cdot 0,6}{0,427} - \frac{507 \cdot 1,27}{0,427} \leq 0 \frac{kN}{m^2} \Rightarrow F_{pi}(1) \leq 2441 \text{ kN.}$$

De voorspankracht $F_{pi}(1)$ wordt voorlopig op 2400 kN aangehouden.

De voorspanning om de veranderlijke belasting te compenseren $F_{pi}(2)$ volgt uit:

$$\sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot 2400}{1,27} - \frac{0,8 \cdot 2400 \cdot 0,6}{0,357} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2)}{1,27} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2) \cdot 0,4}{0,357} + \frac{13048}{0,357} \leq 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$F_{pi}(2) \geq 20845 \text{ kN.}$$

$$\sigma_{bb} = -\frac{0,8 \cdot 2400}{1,27} + \frac{0,8 \cdot 2400 \cdot 0,6}{0,427} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2)}{1,27} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2) \cdot 0,4}{0,427} + \frac{13048}{0,427} \leq 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$F_{pi}(2) \leq 245796 \text{ kN.}$$

Dit is zoals te verwachten is niet strijdig met elkaar en er moet dus een initiële voorspankracht worden geleverd van bijna 21000 kN. Er moet nog wel getoetst worden of de maximale drukspanningen in het beton niet worden overschreden, vanwege de hoge voorspankracht. Als van de gebruiksfase wordt uitgegaan treedt de maatgevende situatie aan de onderkant op als de ligger volledig is voorgespannen en als alleen het eigen gewicht op de ligger werkt plus de rustende belasting

$$\sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot 2400}{1,27} - \frac{0,8 \cdot 2400 \cdot 0,6}{0,357} - \frac{0,8 \cdot 21000}{1,27} - \frac{0,8 \cdot 21000 \cdot 0,4}{0,357} + \frac{2636 + 507 \cdot 1,27}{0,357}$$

$$\sigma_{bo} = -1.512 - 3.227 - 13.228 - 18.823 + 9.187 = -27.603 \frac{kN}{m^2} = -27,6 \frac{N}{mm^2}.$$

De maatgevende situatie aan de bovenkant treedt op als de ligger volledig is belast.

$$\sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot 2400}{1,27} + \frac{0,8 \cdot 2400 \cdot 0,6}{0,427} - \frac{0,8 \cdot 21000}{1,27} + \frac{0,8 \cdot 21000 \cdot 0,4}{0,427} - \frac{13048}{0,427}$$

$$\sigma_{bo} = -1.512 + 2.698 - 13.228 + 15.737 - 30.557 = -26.862 \frac{kN}{m^2} = -26,86 \frac{N}{mm^2}$$

Volgens artikel 8.1.7. van NEN 6720 geldt voor de maximale betondrukspanning:

$$\sigma'_{bi} \leq f'_{bi} \leq 0,75 \cdot f'_b$$

Met een betonkwaliteit B65 wordt de maximaal toelaatbare drukspanning in de

betonddoorsnede: $\sigma'_{bi} \leq 0,75 \cdot 39 = 29,25 \frac{N}{mm^2}$. De optredende spanningen voldoen dus in de

gebruiksfase. Als gekeken wordt naar de aanvangsspanning en bijvoorbeeld tijdens het vervoer dan voldoet de ligger niet:

$$\sigma_{bo} = -\frac{2400}{1,27} - \frac{2400 \cdot 0,6}{0,357} - \frac{21000}{1,27} - \frac{21000 \cdot 0,4}{0,357} + \frac{507 \cdot 1,27}{0,357} = -44,2 \frac{N}{mm^2}$$

Voordat er oplossingen voor deze hoge drukspanning gezocht worden, wordt eerst gekeken of de voorspankabels wel in de ligger passen vanwege de grote voorspankracht

In bijlage VIII staan gegevens over voorspanstaal en enkele voorspansystemen. Er is voor staalsoort FeP1860 gekozen. Deze staalsoort heeft een maximale aanvangsspanning σ_{pi} van 1350 N/mm^2 . Bij een voorspankracht $F_{pi} = 20845 \text{ kN}$ wordt de benodigde doorsnede van het

voorspanstaal: $A_p = \frac{F_{pi}}{\sigma_{pi}} = \frac{20845 \cdot 10^3}{1350} = 15440 \text{ mm}^2$. Bij 3 voorspankabels boven elkaar,

waarbij het zwaartepunt binnen de kern ligt wordt de benodigde oppervlakte per kabel 5150 mm^2 .

Bij het kiezen van een voorspanstelsysteem moet gelet worden op de minimale hart-op-hart afstanden van de ankers en op de minimale randafstand. Aangezien het lijf hier maar 500 mm dik is, mag de randafstand niet groter dan 250 mm bedragen. Er wordt gekozen voor drie kabels met 37 strengen $\varnothing 15,7$ ($A_p = 150 \text{ mm}^2$). De totale oppervlakte van het voorspanstaal bedraagt nu 16650 mm^2 . Voorspanstelsystemen die hieraan voldoen zijn o.a.:

- VSL voorspanstelsysteem met strengen, VMA type E, 6-37
- Freyssinet voorspanstelsysteem met strengen, 37C15 of 37K15

De voorspanning voor het opnemen van het eigengewicht geldt dat er een staaldoorsnede

nodig is van: $A_p = \frac{F_{pi}}{\sigma_{pi}} = \frac{2400 \cdot 10^3}{1350} = 1780 \text{ mm}^2$. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd

door 4 kabels met 4 strengen $\varnothing 15,7$.

Het plaatsen van de voorspanning zal nauwkeuriger onderzocht moeten worden maar geconcludeerd kan worden dat de voorspanning bij deze doorsnede in principe mogelijk is, mede doordat de doorsnede nog verder geoptimaliseerd kan worden.

Eerder kwam echter al naar voren dat de drukspanning in de aanvangsfase wordt overschreden aan de onderkant van de balk. Hiervoor worden enkele oplossingen aangedragen:

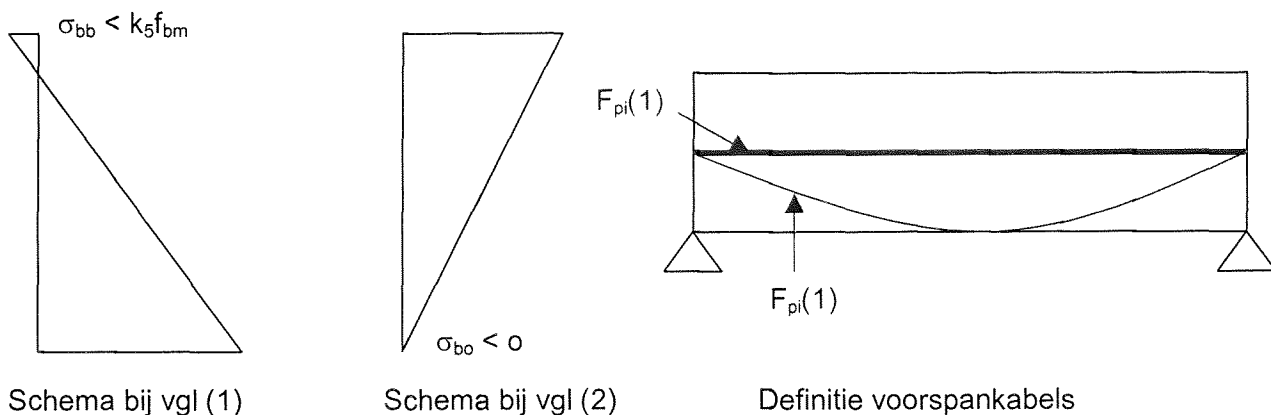
- Het zwaartepunt van de voorspanning anders in de constructie leggen.
Als met een grotere excentriciteit wordt gewerkt dan wordt de benodigde voorspankracht kleiner, vanwege de grotere effectiviteit, maar neemt de drukspanning in de uiterste vezel toe. Een kleinere excentriciteit heeft een grotere voorspankracht tot gevolg maar levert een kleinere drukspanning op in de uiterste vezel.
- Een hogere betonkwaliteit toepassen.
Bij de berekende doorsnede is uitgegaan van een betonkwaliteit B65. Dit is de hoogste betonkwaliteit als gesproken wordt van normaal beton. Er wordt echter op steeds grotere schaal hoge sterkte beton toegepast. Onder hoge sterkte beton wordt beton verstaan waarvan de karakteristieke kubusdruksterkte f_{ck} hoger is dan 65 N/mm^2 . Door een hogere betonsterkte toe te passen neemt de toelaatbare drukspanning toe. Om een drukspanning van $44,1 \text{ N/mm}^2$ te kunnen weerstaan moet minimaal een betonsterkte B105 worden toegepast.
- Een kleine trekspanning in de constructie toelaten.
Er kan gedacht worden om een kleine trekspanning toe te laten in de constructie. Hierdoor kan de voorspankracht kleiner worden, wat een kleinere drukspanning tot gevolg heeft. Op de plaatsen waar de trekspanning kan optreden moet echter nog wel wapening worden toegepast.

Om de constructie te optimaliseren zal er een combinatie van bovenstaande oplossingen gevonden worden. In deze haalbaarheidsstudie gaat het te ver om de ligger helemaal te optimaliseren. Er zal worden aangetoond of het mogelijk is de ligger uit te voeren en de benodigde voorspanning en/of wapening er in past.

Er wordt nu uitgegaan van dezelfde doorsnede als in de laatste berekening. De doorsnede van de ligger en de doorsnede grootheden staan weergegeven in figuur VII.9. Er wordt een hogere betonsterkte toegepast, een kleine trekspanning aan de bovenkant van de ligger toegelaten en de excentriciteit van de voorspankabels wordt aangepast. Er wordt in eerste instantie uitgegaan van een betonsterkte B105. De waarden voor B105 staan weergegeven in bijlage VIII. De maximaal toelaatbare trekspanning hangt af van de betonsterkte en volgt uit $k_5 f_{bm}$. Hierin is k_5 een factor die onder ander afhangt van de milieuklasse. Volgens NEN 6720 moet voor k_5 een waarde van 0,3 worden aangehouden bij milieuklasse 3. De gemiddelde treksterkte f_{bm} bij B105 bedraagt $5,1 \text{ N/mm}^2$.⁽³⁵⁾

De voorspanning wordt weer opgedeeld in 2 delen. Een deel dat het eigengewicht opneemt en met een maximale excentriciteit in de ligger ligt en een deel dat de veranderlijke belasting opneemt en binnen de kern van de doorsnede ligt. Alle voorspanning buiten de kern is niet mogelijk omdat de opbuiging in de aanvangsfase te groot is. De voorspanning voor het eigengewicht wordt $F_p(1)$ genoemd en heeft een maximale excentriciteit e_1 van 600 mm. De voorspanning voor de veranderlijke belasting wordt $F_p(2)$ genoemd en heeft een maximale excentriciteit e_2 van 300 mm.

Er kunnen nu 2 vergelijkingen worden opgesteld met de twee onbekenden $F_p(1)$ en $F_p(2)$. De eerste vergelijking beschrijft de spanning in de bovenste vezel van de ligger in de aanvangsfase en de tweede vergelijking beschrijft de spanning in de onderste vezel in de gebruikersfase. Het idee is weergegeven in figuur VII.10:



Figuur VII.10: globale ligging voorspankabels en spanningsdiagrammen maatgevende toestanden voor berekening

$$(1) \quad \sigma_{bb} = -\frac{F_{pi}(1)}{A_b} + \frac{F_{pi}(1) \cdot e_1}{W_{bb}} - \frac{F_{pi}(2)}{A_b} + \frac{F_{pi}(2) \cdot e_2}{W_{bb}} - \frac{M_{eg}}{W_{bb}} \leq k_5 \cdot f_{bm} \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_{bb} = -\frac{F_{pi}(1)}{1,27} + \frac{F_{pi}(1) \cdot 0,6}{0,427} - \frac{F_{pi}(2)}{1,27} + \frac{F_{pi}(2) \cdot 0,3}{0,427} - \frac{507 \cdot 1,27}{0,427} \leq 0,3 \cdot 5100 \frac{kN}{m^2}$$

$$0,618 \cdot F_{pi}(1) - 0,085 \cdot F_{pi}(2) \leq 3038$$

$$(2) \quad \sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot F_{pi}(1)}{A_b} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(1) \cdot e_1}{W_{bo}} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2)}{A_b} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2) \cdot e_2}{W_{bo}} + \frac{M_{rep}}{W_{bo}} \leq 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$\sigma_{bo} = -\frac{0,8 \cdot F_{pi}(1)}{1,27} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(1) \cdot 0,6}{0,357} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2)}{1,27} - \frac{0,8 \cdot F_{pi}(2) \cdot 0,3}{0,357} + \frac{13032}{0,357} \leq 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$-1,974 \cdot F_{pi}(1) - 1,302 \cdot F_{pi}(2) \leq -36504,2$$

De twee vergelijkingen met twee onbekenden kan worden opgelost door de eerste vergelijking met 15,35 te vermenigvuldigen en de tweede vergelijking van de eerste af te trekken. Er wordt dan het volgende resultaat gevonden:

$$F_{pi}(1) \leq 7254 \text{ kN} \text{ en } F_{pi}(2) \geq 17036 \text{ kN}$$

De aanvangsspanning van voorspanstaal FeP1860 bedraagt: $\sigma_{pi} = 1350 \frac{N}{mm^2}$. Hieruit volgt

nu dat $A_{p1} \leq \frac{7254 \cdot 10^3}{1350} = 5373 \text{ mm}^2$. Bijvoorbeeld 2 voorspankabels met 19 strengen $\varnothing 15,2$

hebben een A_{p1} van 5282 mm^2 . De voorspankracht $F_{pi}(1)$ wordt nu 7135 kN . De minimaal

bijbehorende voorspankracht $F_{pi}(2)$ is 17220 kN . Hieruit volgt de benodigde doorsnede van

het voorspanstaal: $A_{p2} \geq \frac{17220 \cdot 10^3}{1350} = 12756 \text{ mm}^2$. Bijvoorbeeld 2 voorspankabels met 31

strengen $\varnothing 15,2$ en 1 voorspankabel met 30 strengen $\varnothing 15,2$. De totale doorsnede van A_{p2} wordt nu 12788 mm^2 en de voorspankracht $F_{pi}(2)$ is 17264 kN .

Er worden nu enkele controleberekeningen uitgevoerd om de spanningen in de uiterste vezels te controleren.

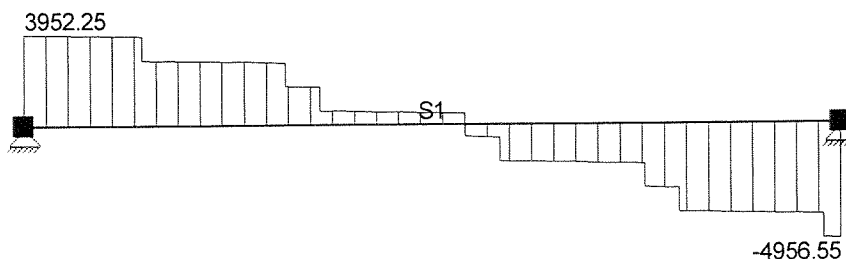
De drukspanning aan de onderzijde van de ligger in de aanvangsfase:

$$\sigma_{bo} = -\frac{7135}{1,27} - \frac{7135 \cdot 0,6}{0,357} - \frac{17264}{1,27} - \frac{17264 \cdot 0,3}{0,357} + \frac{644}{0,357} = -43,9 \frac{N}{mm^2}$$

Voordat er conclusies worden getrokken volgen er eerst nog enkele controleberekeningen voor de dwarskracht en de wringing.

De maximale dwarskracht bedraagt 5000 kN , zie figuur VIII.11. Op deze dwarskracht kan het verticale deel van de voorspankracht in mindering worden gebracht. Als er vanuit wordt gegaan dat de voorspankabels onder ongeveer onder een hoek van $10,5^\circ$ de balk uitkomen, dan wordt de verticale component van de voorspankracht:

$$F_{verticaal} = 0,8 \cdot \sin(10,5) \cdot F_{pi}(1) = 1040 \text{ kN}$$



Figuur VII.11: dwarskracht

Voor de dwarskracht wordt nu 4000 kN aangenomen. De dwarskracht wordt door het lijf opgenomen en De rekenwaarde van de schuifspanning wordt nu:

$$\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot d} = \frac{4000 \cdot 10^3}{500 \cdot 1400} = 5,7 \text{ N/mm}^2.$$

De dwarskrachtcapaciteit τ_1 van B105 is $0,4 \times 2,55 = 1,02 \text{ N/mm}^2$. Voor B65 is dit ongeveer $0,86 \text{ N/mm}^2$. De maximale schuifspanning die met dwarskrachtwapening kan worden opgenomen is voor B105 is $9,5 \text{ N/mm}^2$ en voor B65 $7,8 \text{ N/mm}^2$. Dit is ook te zien in figuur VIII.7 van bijlage VIII.

Geconcludeerd kan worden dat beugelwapening nodig is, zowel bij B65 als bij B105. Het aandeel beugelwapening is bij B105 kleiner omdat de dwarskrachtcapaciteit van de ligger zelf groter is.

Tot slot wordt nog naar de wringing gekeken. De wringing treed op als aan 1 kant van de ligger de ligger vol belast is en aan de andere kant geen containers staan, zie figuur VII.12. Wringing treedt slechts op als de ligger volledig ingeklemd is. De ligger wordt vrij opgelegd op de kolommen en de excentrische lasten van de container worden via een drukdiagonaal naar het lijf gebracht en overgedragen op de kolommen. Er zal wel extra buigwapening bovenin de ligger moeten worden geplaatst om de buiging ten gevolge van deze excentriciteit te kunnen weerstaan.

De voorspanverliezen zijn op 20% aangenomen. Deze verliezen worden hier verder niet uitgewerkt maar verondersteld dat de voorspanverliezen niet groter zijn. De krimp in hoge sterkte beton kan zowel lager als hoger zijn dan bij normaal beton. De kruip van hoge sterkte beton is even groot of iets kleiner als dat voor normaal beton.

Uit de berekening en de controleberekeningen kan worden geconcludeerd dat met de drukspanning onder in de ligger in de aanvangsfase nog steeds rond de 44 N/mm^2 . Door een kleine trekspanning toe te laten aan de bovenzijde van de ligger is de drukspanning iets gereduceerd. Ook het hoger anders leggen van de voorspankabels heeft weinig invloed omdat het moment ten gevolge van alle belastingen weggespannen moet worden. Een andere oplossing kan nog zijn om onder in de balk een kleine trekspanning toe te laten waardoor de benodigde voorspanning reduceert en dus ook de spanning onderin de ligger. Verder kan worden geconcludeerd dat er minimaal B105 nodig is om deze belasting op te nemen. De maximaal toelaatbare drukspanning volgt nu uit:

$$\sigma'_{bi} \leq 0,75 \cdot f'_b = 0,75 \cdot 60 = 45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Het aandeel van de dwarskrachtwapening is bij hoge sterkte beton iets kleiner dan bij normaal beton.

Boven in de constructie wordt een trekkracht toegelaten in het beton. De grootte van het moment dat moet worden geleverd zodat er geen trekspanningen in de constructie zijn volg

$$\text{uit: } \sigma_{bb} = -\frac{7135}{1,27} + \frac{7315 \cdot 0,6}{0,427} - \frac{17264}{1,27} + \frac{17264 \cdot 0,3}{0,427} - \frac{M}{0,427} = 0 \Rightarrow M = 1366 \text{ kNm}$$

Het geleverde moment bedraagt slecht 644 kNm. Er moet dus een moment van 722 kNm worden weggewapend.

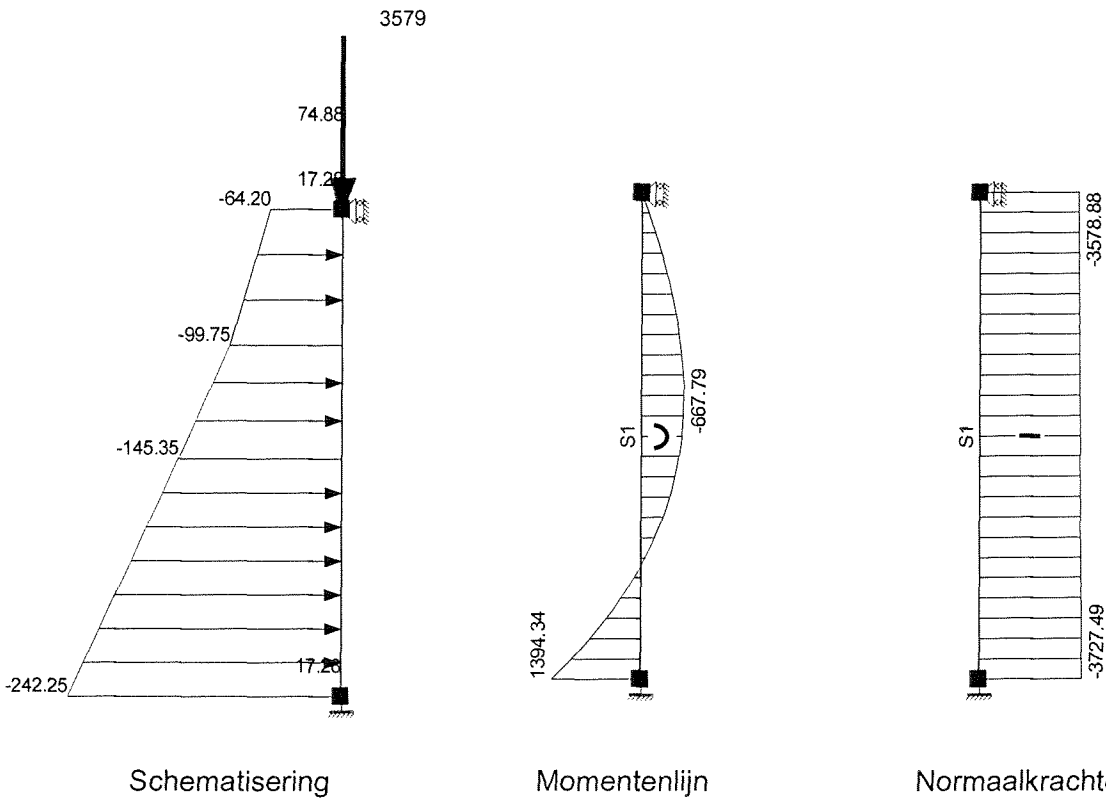
$$A_s = \frac{M_u}{b \cdot z \cdot f_s} = \frac{722 \cdot 10^6}{900 \cdot 0,85 \cdot 1400 \cdot 435} = 1549 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Dimensioneren wanden

Op drie van de vier zijwanden (buitenwanden) van de ondergrondse constructie werken de krachten van opzij maar ook van boven, zodat de dikte van de wand nu gedimensioneerd moet worden voor buiging en normaalkracht. De vierde buitenwand hoeft alleen te worden gedimensioneerd op normaalkracht. Dit is de buitenwand bij de dokking stations. Ook de tussenwanden in de constructie worden gedimensioneerd.

Op de buitenwanden kunnen de volgende belastingen werken:

- Horizontale gronddruk (veranderlijke belasting)
- Eigen gewicht van de wand en eigengewicht van de dakconstructie (permanent belasting)
- Belasting van de containers (veranderlijke belasting)
- Belasting van de OBC (veranderlijke en permanente belasting)



Figuur VII.11: schematisering wand, maatgevende momentenlijn en maatgevende normaalkrachtenlijn

Uit de berekening in MatrixFrame blijkt dat de situatie met alleen de bovenbelasting van de permanente belastingen (eigen gewicht) en de grondbelasting, maatgevend is voor de dikte van de wand. Er treedt een moment op van 1394 kNm met een normaalkracht van 440 kN. Er wordt gewerkt met betonsterkte B35 en wapeningsstaal FeB500. Indien alleen het moment op de constructie zou werken dan zou met een wapeningspercentage van 1,5

procent een benodigde dikte gevonden van ongeveer 600 mm: $\frac{M_d}{bd^2 f_b'} = 260 \Rightarrow$

$$\frac{1394}{1 \cdot d^2 \cdot 21} = 260 \Rightarrow d = 0,51 .$$

Met de wapeningstabel voor buigende momenten en normaalkrachten (tabel VIII.2 van bijlage VIII) kan het benodigde wapeningspercentage worden afgelezen. De factoren zijn:

$$\frac{N_d'}{f_b' \cdot A} = \frac{440 \cdot 10^3}{21 \cdot 1000 \cdot 600} = 0,035 \text{ en } \frac{M_d}{f_b' \cdot A \cdot h} = \frac{1394 \cdot 10^6}{21 \cdot 1000 \cdot 600^2} = 0,184$$

Er kan worden afgelezen dat $r = 1,4$ en dat hieruit een wapeningspercentage volgt van

$$\omega_{ot} = r \cdot \beta = 1,4 \cdot 1,4 = 1,96\%$$

De maximale normaalkracht in de wand treedt ter plaatse van een bovengrondse OBC, die vol wordt belast. De maximale normaalkracht bedraagt 3728 kN. Een doorsnede van 1000 x 600 mm kan deze drukkracht goed aan met een wapeningspercentage van 2 procent.

De maximale dwarskracht die optreedt bedraagt 922 kN. De dwarskrachtcapaciteit van de

wand wordt nu: $\tau_d = \frac{V_d}{b \cdot d} = \frac{922 \cdot 10^3}{1000 \cdot 600} = 1,54 \frac{N}{mm^2}$. Deze waarde is groter dan $\tau_1 (=0,56)$

maar kleiner dan $\tau_2 (=4,2)$. Er moet dus nog beugelwapening worden toegepast om de dwarskracht op te nemen. Het is echter ongebruikelijk om dwarskrachtwapening toe te passen in wanden. Er moet dan zoveel wapening in dat dit uitvoeringstechnisch heel moeilijk wordt. Om de dwarskracht volledig op te laten nemen door de wand, houdt in dat de wand dikker moet worden. De dikte van de wand zou in dit geval 1,65 meter worden. Dit is een dikke wand en er moeten andere oplossingen worden gezocht om de dwarskracht op te nemen, door bijvoorbeeld de dwarskracht te verlagen of de dwarskrachtcapaciteit van de wand te verhogen, zonder dat deze veel dikker wordt. Er wordt gedacht aan het volgende:

- Een verticale voorspanning aanbrengen. In dit geval kan de τ_1 worden verhoogd met $0,15\sigma_d$.
- Een hogere betonkwaliteit toepassen. De dwarskrachtcapaciteit τ_1 is afhankelijk van de betonsterkte. Met een B65 wordt al een hogere waarde voor τ_1 gevonden.
- Een ontlastvloer toepassen. Door halverwege de constructie een ontlastvloer toe te passen wordt de belasting op de zijwand gereduceerd, waardoor ook de dwarskracht en het moment wordt gereduceerd. Onder de ontlastvloer zullen echter ook weer funderingspalen moeten komen, waardoor deze oplossing weg duur wordt.

Er wordt voor gekozen een hogere betonkwaliteit toe te passen in combinatie met een verticale voorspanning en een verbreding van de wand. Er wordt uitgegaan van een betonsterkte B65. De normaalkracht die normaal gesproken permanent op de constructie staat is het eigengewicht van de dakconstructie. Deze wordt voor het gemak even buiten beschouwing gelaten. De dwarskrachtcapaciteit van de wand moet 1,84 N/mm² zijn:

$\tau_1 = 0,4 \cdot f_b + 0,15 \cdot \sigma'_{bm} = 1,48$ Er moet dus een gemiddelde voorspanning worden

aangebracht van: $\sigma'_{bm} = \frac{1,48 - 0,4 \cdot 2,15}{0,15} = 4,2 \text{ N/mm}^2$

Bij een wanddikte van 600 mm moet er per meter breedte een voorspanning worden

aangebracht van: $F_{pw,verticaal} = 600 \cdot 1000 \cdot 4,2 = 2520 \text{ kN/m}$

De wanddikte kan hierdoor 600 mm blijven, zoals eerder berekend.

De wand ter plaatse van de dokking stations wordt alleen op normaalkracht belast. Er werken geen krachten. Er wordt voor gekozen de krachten af te voeren via kolommen en tussen de kolommen geïsoleerde scheidingswanden te plaatsen. Deze wanden hebben verder geen draagfunctie. In de wanden zitten ook de deuren voor de docking stations. Hierop wordt verder niet ingegaan.

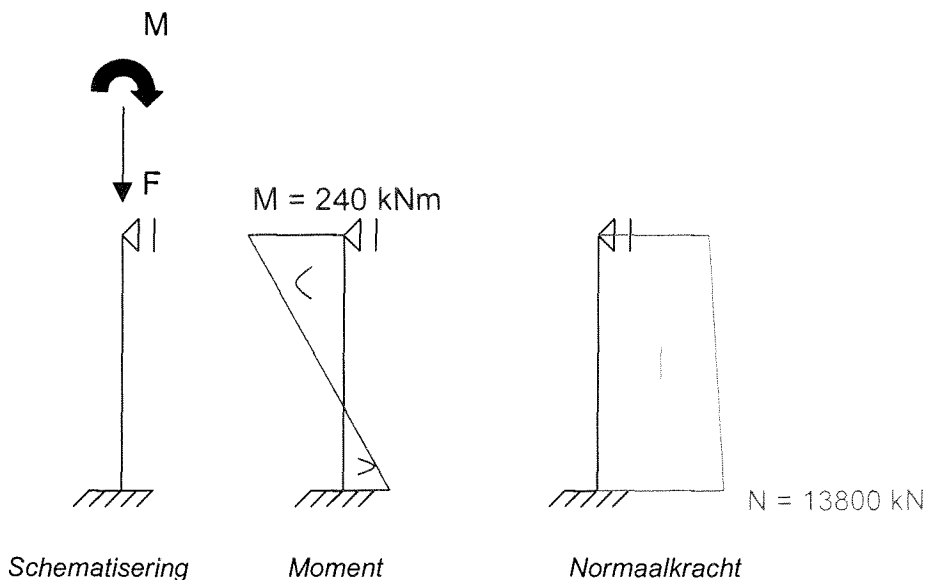
De wanden tussen de vriescellen en het distributiecentrum hebben geen draagfunctie. Ze scheiden de cellen van elkaar en hebben verder een isolatiefunctie. Voor deze wanden wordt gekozen voor licht materiaal met een goede isolatiewaarde.

Kolommen

De kolommen dienen ervoor om de belastingen bovengronds af te voeren naar de vloer en de fundering. Door de grote belastingen van de containers en de bovengrondse OBC, zijn de krachten die worden afgedragen naar de kolommen groot. Alle belastingen die kunnen optreden worden hieronder nog eens genoemd:

- Belasting van de bovengrondse OBC (veranderlijke en permanente belasting)
- Eigengewicht van de dakconstructie (permanente belasting)
- Eigengewicht van de kolom (permanente belasting)
- Belasting door containers (veranderlijke belasting)
- Belasting van de ondergrondse OBC (veranderlijke belasting)

Bij de eerste 4 belastingen wordt er vanuit gegaan dat dit centrische drukkrachten zijn. De belastingen van de ligger worden via de opleggingen op de kolom afgedragen. De laatste belasting kan excentrisch optreden, bijvoorbeeld als er aan 1 zijde van de kolom een OBC hangt. De schematisering van de belastingen is weergegeven in figuur VII.13. Hierin zijn alle belastingen geschematiseerd die kunnen optreden



Figuur VII.13: schematisering kolom, maatgevende momentenlijn en normaalkrachtenlijn

De maximale normaalkracht treedt op bij een vol belaste kolom. De totale kracht, inclusief de ondergrondse OBC's wordt bepaald op 13800 kN. Met betonkwaliteit B35 en betonstaal FeB500 wordt de volgende kolomdoorsnede gevonden:

$$A_b = \frac{N_d}{(f'_b + \omega \cdot f_s)} = \frac{13800 \cdot 10^3}{(21 + 0,02 \cdot 435)} = 464646,5 \text{ mm}^2 \Rightarrow A_b = 680 \times 680 \text{ mm}^2.$$

Om de normaalkracht op te kunnen nemen voldoet een kolom van $700 \times 700 \text{ mm}^2$, met een wapeningspercentage van twee procent.

Het maximale moment in de kolom treedt op als aan 1 kant van de kolom de kolom vol belast is door een ondergrondse OBC en er aan de andere kant er geen veranderlijke belasting aanwezig is. Het maximale moment is 240 kNm. Dit moment wordt gevonden door een excentriciteit van 600 mm van de last op de console en een maximale puntlast van 400 kN. In het geval dat er bovengronds geen containers in de opslag staan en er geen OBC op de kolom staat is de normaalkracht in deze situatie ongeveer 420 kN. In de tabel voor buiging en normaalkracht met symmetrische wapening (zie tabel VIII.3 in bijlage VIII) kan gezien worden dat de er geen extra wapening nodig is en dat de kolom van 700×700 de buigende momenten kan opnemen. In de bouwphase worden de liggers één voor één geplaatst op de

kolommen. Indien er maar 1 ligger op de kolom rust is er ook sprake van een moment ten gevolge van de excentriciteit van de oplegging. Het moment wat dan optreedt bij een excentriciteit van 100 mm, bedraagt: $M = 1,27 \cdot 6,5 \cdot 24 \cdot 0,1 = 20 \text{ kNm}$. Bij een excentriciteit van 200 mm wordt het moment 40 kNm. De kolom kan dit moment met een wapeningspercentage van 2% gemakkelijke opnemen. In de bouwfase wordt geen rekening gehouden met een ondergrondse bovenloopkraan, daar deze nog niet in gebruik is.

Vloer

De dikte van de vloerconstructie hangt af van de belastingen die erop werken. op de vloer werken nu niet alleen neerwaartse belastingen maar ook een opwaartse belasting; de waterdruk. De belastingen die op de vloer kunnen werken zijn:

- Belasting door kolommen (permanente en veranderlijke belasting)
- Belasting door de ondergrondse containers (veranderlijke belasting)
- Belasting door pallets (veranderlijke belasting)
- Belasting door vorkhef trucks (veranderlijke belasting)
- Belasting door waterdruk (veranderlijke belasting)
- Belasting door korreldruk (veranderlijke belasting)
- Eigengewicht van de vloer

Voor het dimensioneren van de vloerdikte wordt eerst gekeken naar de benodigde dikte van de vloer, zodat de constructie niet opdrijft. Deze situatie kan optreden als de vloer niet dik genoeg is en er geen andere belastingen zijn dan de permanente belastingen. Voor de waterstand wordt nu een hoge waterstand genomen die niet vaak voorkomt. Voor deze grondwaterstand zijn geen gegevens beschikbaar. De hoge grondwaterstand wordt aangenomen op + 3,0 meter NAP. De neerwaartse belastingen bestaan uit de permanente belastingen van de constructie. De vloer wordt voorlopig oneindig stijf beschouwd, zodat de belasting ten gevolge van het eigengewicht gelijkmatig verdeeld kan worden aangenomen. De neerwaartse belasting ten gevolge van de permanente belasting is de som van het gewicht van de bovengrondse OBC's, de dakconstructie, de wanden, de kolommen en de vloer. Deze neerwaartse belasting bedraagt bij een vloer van 2 meter ongeveer 66 kN/m^2 . De opwaartse belasting wordt gevormd door de waterdruk. Bij een waterstand van NAP +3,0 meter is de opwaartse waterdruk aan de onderzijde 91 kN/m^2 . De constructie gaat dus opdrijven en er is een dikkere vloer nodig. Als er ook nog veiligheidsfactoren worden toegepast, 0,9 voor de permanente belasting van het eigen gewicht en 1,2 voor de opwaartse waterdruk), dan wordt de vloerdikte groter dan 6 meter. De vloer zou dan laagje voor laagje moeten worden opgebouwd omdat in een keer 6 meter storten over 4 hectaren onmogelijk is. Er zal dus een andere oplossing gevonden moeten worden om de opwaartse waterdruk te compenseren. Er worden twee mogelijkheden aangedragen:

- De opslag minder diep maken.
De bovenbelastingen blijven nagenoeg gelijk en de opwaartse waterdruk neemt af. Dit betekent dat het ontwerp moet worden herzien en er een nieuw functioneel ontwerp moet worden gemaakt waarbij er een nieuwe keuze gemaakt moet worden voor het opslagsysteem. In dit geval zal er slechts 1 hoog gestapeld kunnen worden.
- Trekpalen toepassen.
Bij het toepassen van trekpalen, werkt de grond onder de vloer mee met de neerwaartse belasting. Trekpalen toepassen is duurder. Er zal moeten worden bepaald hoeveel trekpalen er nodig zijn en wat de extra kosten zijn.

Er wordt voor gekozen met dit ontwerp verder te gaan en trekpalen toe te passen. Voordat met het ontwerp van de trekpalen wordt begonnen wordt eerst de benodigde vloerdikte aangenomen. De vloer wordt erg stijf aangenomen, zodat de belastingen op de vloer van de kolommen en de containers onder de grond, gelijkmatig worden verdeeld. De vloerdikte wordt niet tot in detail berekend, maar er wordt van een constructievloer uitgegaan van 1,5 meter dik. Een vloer van 1,5 meter dik moet de optredende momenten kunnen opvangen met wapening. Voor het wapeningspercentage wordt uitgegaan van 2 procent. Hiermee komt de onderkant van de constructie op NAP -6,1 meter

Tabel VII.1: neerwaartse en opwaartse drukken

Neerwaartse belastingen			
OBC liggers	71604kN	Alle belastingen neerwaarts	4161161kN
OBC Kolommen	65318kN	Alleen perm/ belasting	837053kN
OBC met containers	6300kN		
Dakplaten	441293kN		
Dakliggers	107777kN	Neerwaarts volbelast	91kN/m ²
Wanden 221 meter	63648kN	Neerwaarts permanent	54kN/m ²
Wanden 208 meter	59904kN	Neerwaarts bouwfase	36kN/m ²
Kolommen	27509kN	Opwaarts hoog	91kN/m ²
Vloer ondergronds	1654848kN	Opwaarts normaal	81kN/m ²
Containers bovengronds	1272960kN	Opwaarts laag	71kN/m ²
Containers ondergronds	170000kN		
Pallets ondergronds	220000kN		
Opwaartse waterdruk hoog	4183088kN		
Opwaartse waterdruk norm	3631472kN		
Opwaartse waterdruk laag	3263728kN		

opdrijven wordt uitgegaan dat er alleen een permanente belasting aanwezig is. Er is een neerwaartse belasting van 54 kN/m² en een opwaartse waterdruk van 91 kN/m², zie ook tabel VII.1. Er is dan dus een resulterende belasting van 37 kN/m² naar boven door de waterdruk.

Bij een hart op hart afstand van 5 meter moet een paal 925 kN aan trekkracht hebben. Hiervan mag nog het eigengewicht van de paal worden afgetrokken. Er wordt uitgegaan van de sonderingen in bijlage VIII, waarbij de sondering wordt geschematiseerd, zoals weergegeven in figuur VII.14

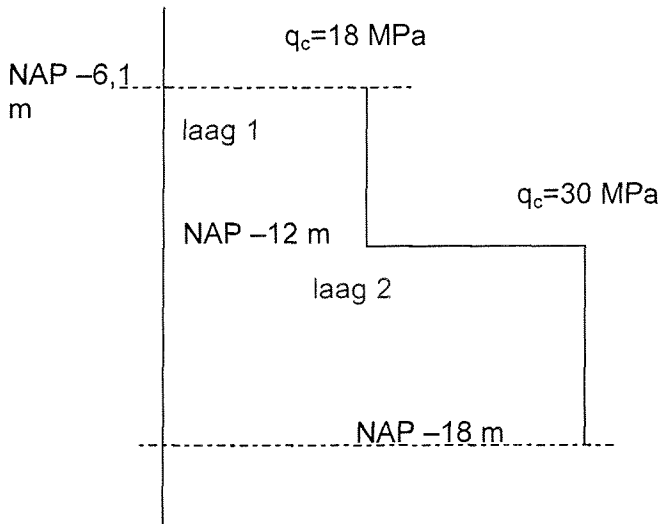
Omdat ontgraven wordt, wordt de grond ontlast en moet er rekening worden gehouden met een gereduceerde conusweerstand. Deze gereduceerde conusweerstand kan als volgt worden bepaald conform NEN 6730:

$$q_{c;z;corr} = \frac{\sigma'_{v;z}}{\sigma'_{v;z;i}} \cdot q_{c;z}$$

De gereduceerde conusweerstand is de nieuwe korrelspanning gedeeld door de initiële korrelspanning vermenigvuldigd met de gemeten conusweerstand voor de ontgraving. Indien dit wordt gedaan voor de geschematiseerde sondering worden de volgende conusweerstand gevonden:

$$q_{c;z;corr;laag1} = \frac{26,6}{16,1} \cdot 18 = 3 \text{ MPa}$$

$$q_{c;z;corr;laag2} = \frac{80,1}{213,6} \cdot 30 = 11,3 \text{ MPa}$$



Figuur VII.14: schematisering sondering

Met deze gereduceerde conusweerstand kan de schachtwrijvingsweerstand worden berekend. Er wordt voor Vibro Combi palen gekozen omdat deze zowel op trek als op druk kunnen worden belast. De werking van deze palen staat uitgelegd bij de uitvoering van in hoofdstuk 10 van het hoofdrapport. De diameter van deze palen bedraagt 0,56 meter. De schachtwrijving wordt als volgt bepaald⁽³⁶⁾:

$$F_{r;max;trek} = \int_0^{\Delta L} O_{p;gem} \cdot P_{r;max;trek;z} \cdot dz$$

waarin:

- $F_{r;max;trek}$ = maximale trekkracht in de paal in kN
- $O_{p;gem}$ = gemiddelde omtrek van de paal in m
- ΔL = lengte waarover de schachtwrijving wordt berekend in m
- $P_{r;max;trek;z}$ = maximale schachtwrijving op diepte z in kN/m^2
- z = aanduiding van de diepte

$$P_{r;max;trek;z} = \alpha_t \cdot q_{c;z}$$

met:

- α_t = factor die invloed van de uitvoering in rekening brengt
- $q_{c;z}$ = conusweerstand op diepte z (maximaal 15 MPa)

De omtrek van de paal is 1,76 meter en $\alpha_t = 0,012$. Verder wordt er nog een veiligheidsfactor van 1,7 opgezet.

$$\text{De schachtwrijving van laag 1 wordt nu: } F_{r;\max;trek;laag1} = \frac{3000 \cdot 1,76 \cdot 5,9 \cdot 0,012}{1,7} = 220 \text{ kN}$$

$$\text{De schachtwrijving van laag 2 wordt nu: } F_{r;\max;trek;laag2} = \frac{11300 \cdot 1,76 \cdot 6 \cdot 0,012}{1,7} = 842 \text{ kN}$$

De totale schachtwrijving van de paal wordt nu $842 + 220 = 1062$ kN. Dit is de maximale trekkracht per paal dat door wrijving kan worden geleverd. De benodigde trekkracht per paal was bepaald op 925 kN, dus deze voldoet.

In het voorgaande is een handberekening gemaakt en zijn er grove aannames gemaakt. De grondlagen zijn ook ingevoerd in een bestaande spreadsheet voor het uitrekenen van trekpalen, om zo de gemaakte handberekening te controleren. Hierin is de laag onderverdeeld in drie lagen en is een hogere waarde voor de maximale trekkracht berekend. Het blijkt dat de schachtwrijving hoger is en geconcludeerd kan worden dat de aanname veilig is. In deze berekening is ook gekeken naar het kluitgewicht. Het blijkt dat het kluitgewicht per paal neerkomt op bijna 1800 kN en dit voldoet dus ook, zodat voldaan is aan het slijpcriterium en het kluitcriterium. De gekozen hart op hart afstand voldoet dus. Een grotere hart op hart afstand betekent dat de palen meer trekcapaciteit moeten hebben en dus langer moeten worden voor de schachtwrijving. Het kluitcriterium neemt toe omdat de meewerkende grond tussen de palen meer wordt. Enkele sheets uit het programma zijn aan het einde van deze bijlage bijgevoegd ter informatie. De palen staan h.o.h. 5 meter en de lengte van de palen is ongeveer 12 meter.

De palen zijn nu op trek gedimensioneerd. Tot slot moet nog gekeken worden als de palen op druk belast worden. In tabel VII.1 is te zien dat als de ondergrondse constructie vol belast is er neerwaarts een belasting is van 91 kN/m^2 . In deze situatie wordt uitgegaan van een lage grondwaterstand en is de opwaartse kracht 71 kN/m^2 . Er werkt in dat geval dus 20 kN/m^2 naar beneden en dat is per paal 500 kN.

Het drukdraagvermogen van de palen is groter dan het trekdraagvermogen omdat de schachtwrijving op druk groter is dan de schachtwrijving op trek. Dit scheelt ongeveer een factor 1,2 (vuistregel). Bovendien komt daar het puntdraagvermogen nog bij. Hieruit wordt geconcludeerd dat de palen de maximale druk kunnen weerstaan.

BEPALING KORRELSPANNINGEN

Project
Onderdeel
Mootnummer
Kilometer
Datum
Gemaakt door
Basisgegevens
Versie

Grondgeg.	γ_{nat} [kN/m ³]
zand droog	17,0
zand nat	19,0
veen	12,0

w.s. ph.oud 2,50 [m NAP]
w.s. ph.nieuw 2,50 [m NAP]
w.s. pleistoceen 2,50 [m NAP]

Methode 1: oneindig brede bouwput

Methode 2: volgens Jurgenson

Grondsoort	Diepte o.k. laag [m NAP]	γ_{nat} [kN/m ³]	σ_g o.k. laag [kN/m ²]	σ_w o.k. laag [kN/m ²]	σ_k o.k. laag [kN/m ²]	Grondsoort	γ_{nat} [kN/m ³]	$\sigma_{g,nieuw}$ [kN/m ²]	$\sigma_{w,nieuw}$ [kN/m ²]	σ_k ;nieuw [kN/m ²]	σ_k ;nieuw / σ_k	f _{ontgr}	reductie tgv trekken damwand	Methode 2: volgens Jurgenson							
														π_z	Reductie vd korrelspannings- afname tgv ontgraven [kN/m ²]	Reductie vd korrelspannings- toename tgv aanbrengen grondverb. [kN/m ²]	σ_k ;nieuw Methode 2	σ_k ;nieuw / σ_k Methode 1	f _{ontgr} Methode 1	reductie tgv trekken damwand	
bk. mv.	5,80																				
zand droog	2,50	17,0	56,1	0,0	56,1																
zand nat	0,00	19,0	103,6	25,0	78,6																
zand nat	-2,00	19,0	141,6	45,0	96,6																
bk1	zand nat	-6,10	19,0	219,5	86,0	133,5		86,0	86,0	0,0	0,00	0,25	-				0,0	0,00	0,25	-	
	zand nat	-9,05	19,0	275,6	115,5	160,1	zand nat	19,0	142,1	115,5	26,6	0,17	0,37	-			26,6	0,17	0,37	-	
ok1	zand nat	-12,00	19,0	331,6	145,0	186,6	zand nat	19,0	198,1	145,0	53,1	0,28	0,46	-			53,1	0,28	0,46	-	
	zand nat	-13,50	19,0	360,1	160,0	200,1	zand nat	19,0	226,6	160,0	66,6	0,33	0,50	-			66,6	0,33	0,50	-	
ok2	zand nat	-15,00	19,0	388,6	175,0	213,6	zand nat	19,0	255,1	175,0	80,1	0,38	0,53	-			80,1	0,38	0,53	-	
	zand nat	-16,50	19,0	417,1	190,0	227,1	zand nat	19,0	283,6	190,0	93,6	0,41	0,56	-	1,0000	0,0	0,0	93,6	0,41	0,56	-
ok3	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	0,9830	3,9	1,6	109,4	0,45	0,59	-
	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	0,9830	3,9	1,6	109,4	0,45	0,59	-
	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	0,9830	3,9	1,6	109,4	0,45	0,59	-
	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	1,0414	-9,4	-3,9	101,6	0,42	0,57	-
	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	1,0556	-12,6	-5,2	99,7	0,41	0,56	-
	zand nat	-18,00	19,0	445,6	205,0	240,6	zand nat	19,0	312,1	205,0	107,1	0,45	0,58	-	0,9738	6,0	2,5	110,6	0,46	0,59	-

CONTROLE TREKPALEN		Versie 3.2	
Project			
Projectnummer			
Datum			
Gemaakt door			
	Mootnr.:	Inheidiepte:	-18,00 [m NAP]
	Onderdeel:	ontgr	-6,10 [m NAP]
	Kilometer:		3 lagen

Paalgegevens:

Paaltype	vibrocombipaal	
D =	0,56 [m]	(Diameter van de paalschacht)
O =	1,76 [m]	(Omtrek van de paalschacht)
A _{samen} =	0,24630 [m²]	(Doorsnede van de paalschacht)
L =	11,9 [m]	(Netto lengte van de paal)
L _{trek} =	11,9 [m]	(Dikte van het pakket waaraan trek wordt ontleend)
E _{samen} =	[kN/m²]	(Elasticiteitsmodulus van de paal)
a1 =	5,00 [m]	(Stramienmaat lengterichting)
a2 =	5,00 [m]	(Stramienmaat lengterichting)
b1 =	5,00 [m]	(Stramienmaat breedterichting)
b2 =	5,00 [m]	(Stramienmaat breedterichting)
α ₁ =	0,012 [-]	(Factor paalschachtwrijving)
factor φ-δ =	1,00 [-]	(Verhouding tussen de wrijvingshoek delta van de paal en de wrijvingshoek phi van de grond)

Belastinggegevens:

	37,00	(resultierend opwaarts per m2)
F _{s;d} =	925 [kN]	(Rekenwaarde van de trekkracht op de paal)
F _{s;d;red} =	884 [kN]	(Rekenwaarde van de trekkracht minus eigen gewicht van de paal)
paalgew	41,03	

Veiligheidsfactoren:

FS _{trek} =	1,7 [-]	(Partiële factor voor de trekkracht van een alleenstaande paal)
FS _{gew} =	1,2 [-]	(Partiële factor voor het effectieve volumieke gewicht van de grond)

Grondlagen:

bovenkant laag1	-6,10 m NAP
onderkant laag1	-12,00 m NAP
bovenkant laag2	-12,00 m NAP
onderkant laag2	-15,00 m NAP
bovenkant laag3	-15,00 m NAP
onderkant laag3	-18,00 m NAP

Laag 1

$h_1 = 5,9$ [m] (Paaldeel waarover kleef wordt gerekend)

Bodemgegevens:

$\sigma_{v,1/2h_i} = 160,1$ [kN/m²] (Initiële korrelspanning op 1/2h)
 $\sigma_{v,1/2h} = 26,6$ [kN/m²] (Korrelspanning na ontgraven op 1/2h)
 $\sigma_{v,h_i} = 186,6$ [kN/m²] (Initiële korrelspanning op h)
 $\sigma_{v,h} = 53,1$ [kN/m²] (Korrelspanning na ontgraven op h)
 $\phi = 30,0$ [graden] (Effectieve hoek van inwendige wrijving)

Voor ontgraving gecorrigeerde conusweerstand:

$f_{ontgr,1/2h} = 0,37$ [-] (Factor voor de correctie van de
 $f_{ontgr,h} = 0,46$ [-] conusweerstand i.v.m. de ontgraving)
 $q_{c,gem} = 16,0$ [MPa] (Gemiddelde conusweerstand over traject h)
 $q_{c,1/2h,corr} = 6,0$ [MPa] (Gecorrigeerde conusweerstand; $f_{ontgr} * q_{c,gem}$)
 $q_{c,h,corr} = 7,4$ [MPa] (=maximaal 15 MPa)

Verdichtingsfactor:

$f_{verd} = 1$ [-] (Het effect van heverdichting, indien h.o.h. afstand < 3D_{eq})

Ontspanningsfactor:

$\delta = 30,0$ [graden] (Wandwrijvingshoek)
 $\alpha_{t,toel} = 0,0071$ [-] (Toelaatbare factor paalschachtwrijving
 α_t / FS_{trek})
 $\sigma_{v,h,toel} = 44,3$ [kN/m²] (Vert. korrelspanning na ontgraven gebaseerd
 op toelaatbaar effectief volumegewicht
 $\sigma_{v,h,toel} = \sigma_{v,h} / FS_{gew}$)
 $K_{toel} = 2,05$ [-] (Toelaatbare coëfficiënt horizontale gronddruk)
 $K_{ontsp} = 0,50$ [-] (Horizontale grondrukcoëfficiënt)
 $f_{ontsp} = 0,94$ [-] (Ontspanningsfactor)

Gecorrigeerde schuifspanning:

$\tau_{corr} = \alpha_{s,toel} * f_{verd} * f_{ontsp} * q_{c,1/2h,corr}$
 $\tau_{corr} = 39,90$ [kN/m²] (Gecorrigeerde schuifspanning)

Afname van de verticale korrelspanning:

$\Delta \sigma_{v,z,1} = 16,56$ [kN/m²] (Opneembare trek per paal
 volgens $(\tau_{corr} * O * h_1) / (0.5 * (a_1 + a_2) * 0.5 * (b_1 + b_2))$
 < $\sigma_{v,h,toel}$)

Laag 2

$h_2 =$ 3,0 [m] (Paaldeel waarover kleef wordt gerekend)

Bodemgegevens:

$\sigma_{v,1/2h,i} =$ 200,1 [kN/m²] (Initiële korrelspanning op 1/2h)
 $\sigma_{v,1/2h} =$ 66,6 [kN/m²] (Korrelspanning na ontgraven op 1/2h)
 $\sigma_{v,h,i} =$ 213,6 [kN/m²] (Initiële korrelspanning op h)
 $\sigma_{v,h} =$ 80,1 [kN/m²] (Korrelspanning na ontgraven op h)
 $\sigma_{v,1/2h,corr} =$ 50,0 [kN/m²] ($\sigma_{v,1/2h} - \Delta s_{v,1/2h,1}$)
 $\sigma_{v,h,corr} =$ 63,5 [kN/m²] ($\sigma_{v,h} - \Delta s_{v,h,1}$)
 $\phi =$ 30,0 [graden] (Effectieve hoek van inwendige wrijving)

Voor ontgraving gecorrigeerde conusweerstand:

$f_{ontgr,1/2h} =$ 0,44 [-] (Factor voor de correctie van de
 $f_{ontgr,h} =$ 0,47 [-] conusweerstand i.v.m. de ontgraving)
 $q_{c,gem} =$ 30,0 [MPa] (Gemiddelde conusweerstand over traject h)
 $q_{c,1/2h,corr} =$ 13,1 [MPa] (Gecorrigeerde conusweerstand; $f_{ontgr} * q_{c,gem}$)
 $q_{c,h,corr} =$ 14,2 [MPa] (=maximaal 15 MPa)

Verdichtingsfactor:

$f_{verd} =$ 1 [-] (Het effect van heververdichting, indien h.o.h. afstand < 3D_{eq})

Ontspanningsfactor:

$\delta =$ 30,0 [graden] (Wandwrijvingshoek)
 $\alpha_{t,toel} =$ 0,0071 [-] (Toelaatbare factor paalschachtwrijving
 α_t / FS_{pak})
 $\sigma_{v,h,toel} =$ 52,9 [kN/m²] (Vert. korrelspanning na ontgraven gebaseerd
op toelaatbaar effectief volumegegewicht
 $\sigma_{v,h,toel} = \sigma_{v,h} / FS_{gew}$)
 $K_{toel} =$ 3,28 [-] (Toelaatbare coëfficiënt horizontale gronddruk)
 $K_{ontsp} =$ 0,50 [-] (Horizontale grondrukcoëfficiënt)
 $f_{ontsp} =$ 0,97 [-] (Ontspanningsfactor)

Gecorrigeerde schuifspanning:

$\tau_{corr} = \alpha_{s,toel} * f_{verd} * f_{ontsp} * q_{c,1/2h,corr}$
 $\tau_{corr} =$ 89,92 [kN/m²] (Gecorrigeerde schuifspanning)

Afname van de verticale korrelspanning:

$\Delta \sigma_{v,z,2} =$ 19,0 [kN/m²] (Opneembare trek per paal
volgens $(\tau_{corr} * 0 * h_1) / (0.5 * (a_1 + a_2) * 0.5 * (b_1 + b_2))$
< $\sigma_{v,h,toel}$)

Laag 3

$h_3 = 3,0$ [m] (Paaldeel waarover kleef wordt gerekend)

Bodemgegevens:

$\sigma_{v;1/2h_i} =$	227,1 [kN/m ²]	(Initiële korrelspanning op 1/2h)
$\sigma_{v;1/2h} =$	93,6 [kN/m ²]	(Korrelspanning na ontgraven op 1/2h)
$\sigma_{v;h_i} =$	240,6 [kN/m ²]	(Initiële korrelspanning op h)
$\sigma_{v;h} =$	107,1 [kN/m ²]	(Korrelspanning na ontgraven op h KLUIT)
$\sigma_{v;h} =$	107,1 [kN/m ²]	(Korrelspanning na ontgraven op h SLIP)
$\sigma_{v;1/2h;corr} =$	58,1 [kN/m ²]	$(\sigma_{v;1/2h} - \Delta\sigma_{v;1/2h;2} - \Delta\sigma_{v;1/2h;1})$
$\sigma_{v;h;corr} =$	71,6 [kN/m ²]	$(\sigma_{v;h} - \Delta\sigma_{v;h;2} - \Delta\sigma_{v;h;1})$
$\phi =$	30,0 [graden]	(Effectieve hoek van inwendige wrijving)
$\gamma_{eff} =$	9,0 [kN/m ³]	(Effectief gewicht van de zandlaag)

Voor ontgraving gecorrigeerde conusweerstand:

$f_{ontgr;1/2h} =$	0,44 [-]	(Factor voor de correctie van de
$f_{ontgr;h} =$	0,47 [-]	conusweerstand i.v.m. de ontgraving)
$q_{c;gem} =$	16,0 [MPa]	(Gemiddelde conusweerstand over traject h)
$q_{c;1/2h;corr} =$	7,1 [MPa]	(Gecorrigeerde conusweerstand; $f_{ontgr} \cdot q_{c;gem}$)
$q_{c;h;corr} =$	7,6 [MPa]	(=maximaal 15 MPa)

Verdichtingsfactor:

$f_{verd} = 1,0$ [-] (Het effect van heilverdichting)

Ontspanningsfactor:

$\delta =$	30,0 [graden]	(Wandwrijvingshoek)
$\alpha_{t;toel} =$	0,0071 [-]	(Toelaatbare factor paalschachtwrijving α_t / FS_{trek})
$\sigma_{v;h;toel} =$	59,6 [kN/m ²]	(Vert. korrelspanning na ontgraven gebaseerd op toelaatbaar effectief volumegewicht $\sigma_{v;h;toel} = \sigma_{v;h} / FS_{gew}$)
$K_{toel} =$	1,55 [-]	(Toelaatbare coëfficiënt horizontale gronddruk)
$K_{ontsp} =$	0,50 [-]	(Horizontale gronddrukcoëfficiënt)
$f_{ontsp} =$	0,97 [-]	(Ontspanningsfactor)

Gecorrigeerde schuifspanning:

$\tau_{corr} = \alpha_{s;toel} \cdot f_{verd} \cdot f_{ontsp} \cdot q_{c;1/2h;corr}$
 $\tau_{corr} = 48,4$ [kN/m²] (Gecorrigeerde schuifspanning)

Afname van de verticale korrelspanning:

$\Delta\sigma_{v;z;3} = 10,2$ [kN/m²] (Opneembare trek per paal volgens $(\tau_{corr} \cdot O \cdot h^2) / (0.5 \cdot (a_1 + a_2) \cdot 0.5 \cdot (b_1 + b_2)) < \sigma_{v;h;corr;toel}$)

Representatieve waarde en rekenwaarde van de paaltrekkraft:

$$F_{r,rep} = 1945 \text{ [kN]}$$

$$F_{r,d} = 1144 \text{ [kN]}$$

Rekenwaarde van het kluitgewicht van een paal in een groep:

$$G_{r,d} = 1781 \text{ [kN]}$$

Toetsing aan het slipcriterium:

$$F_{r,d} = 1144 \text{ [kN]}$$

$$F_{s;d,red} = 884 \text{ [kN]}$$

$F_{r,d} > F_{s;d,red}$
Aan de toetsingsvoorwaarde wordt voldaan!

Toetsing aan het kluitcriterium:

$$G_{r,d} = 1781 \text{ [kN]}$$

$$F_{s;d,red} = 884 \text{ [kN]}$$

$G_{r,d} > F_{s;d,red}$
Aan de toetsingsvoorwaarde wordt voldaan!

Bijlage VIII:

Tabellen en sonderingen

- Wapeningstabel buiging VIII-1
- Wapeningstabellen buiging en normaalkracht VIII-2
- Sonderingen VIII-4
- Voorspanstrengen VIII-6
- Voorspansystemen VIII-6
- Tabellen en grafieken Hoge Sterkte Beton VIII-9

Tabel VIII.1: wapeningstabel voor alleen buigende momenten

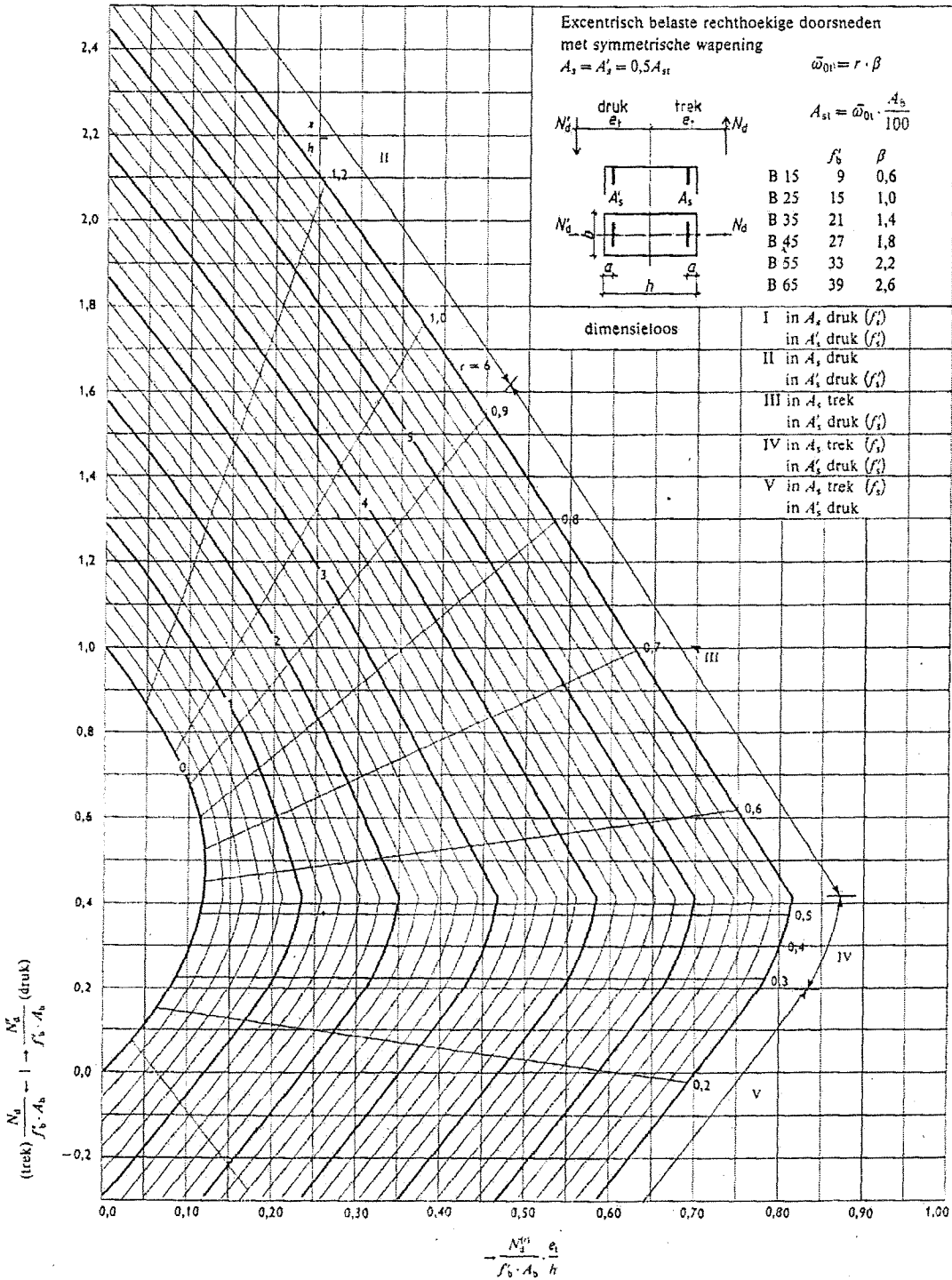
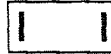
$\frac{M_d}{bd^2 f'_b}$	ψ	$\frac{x_u}{d}$	$\frac{z_u}{d}$	ω_o (%)				
				B25	B35	B45	B55	B65
10	0,010	0,013	0,99	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09
20	0,020	0,027	0,99	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18
30	0,030	0,240	0,98	0,10	0,15	0,19	0,23	0,27
40	0,041	0,055	0,98	0,14	0,20	0,25	0,31	0,37
50	0,051	0,068	0,97	0,18	0,25	0,32	0,39	0,46
60	0,062	0,083	0,97	0,21	0,30	0,39	0,47	0,56
70	0,073	0,097	0,96	0,25	0,35	0,45	0,55	0,66
80	0,084	0,112	0,96	0,29	0,41	0,52	0,64	0,75
90	0,095	0,127	0,95	0,33	0,46	0,59	0,72	0,85
100	0,106	0,141	0,94	0,37	0,51	0,66	0,81	0,95
110	0,117	0,156	0,94	0,40	0,56	0,73	0,89	1,05
120	0,129	0,172	0,93	0,44	0,62	0,80	0,98	1,16
130	0,140	0,187	0,93	0,48	0,68	0,87	1,06	1,26
140	0,152	0,203	0,92	0,52	0,73	0,94	1,15	1,36
150	0,164	0,219	0,91	0,57	0,79	1,02	1,24	1,47
160	0,176	0,235	0,91	0,61	0,85	1,09	1,34	1,58
170	0,188	0,251	0,90	0,65	0,91	1,17	1,43	1,69
180	0,201	0,268	0,90	0,69	0,97	1,25	1,53	1,80
190	0,214	0,285	0,89	0,74	1,03	1,33	1,62	1,92
200	0,227	0,303	0,88	0,78	1,10	1,41	1,72	2,04
210	0,240	0,320	0,88	0,83	1,16	1,49	1,82	2,16
220	0,253	0,337	0,87	0,87	1,22	1,57	1,92	2,27
230	0,267	0,356	0,86	0,92	1,29	1,66	2,03	2,39
240	0,281	0,375	0,85	0,97	1,35	1,75	2,13	2,52
250	0,295	0,393	0,85	1,02	1,43	1,83	2,24	2,84
260	0,310	0,413	0,84	1,07	1,50	1,93	2,35	2,78
270	0,325	0,433	0,83	1,12	1,57	2,02	2,47	2,91
280	0,340	0,453	0,82	1,17	1,64	2,11	2,58	3,05
290	0,356	0,475	0,81	1,23	1,72	2,21	2,70	3,19
300	0,372	0,496	0,81	1,28	1,80	2,31	2,82	3,34
310	0,388	0,517	0,80	1,34	1,87	2,41	2,94	3,48
320	0,405	0,540	0,79	1,40	1,96	2,51	3,07	3,63

M_d in kNm, b en d in m, f'_b in N/mm², $\psi = \omega f'_s / f'_b$

Tabel VIII.2: wapeningstabel voor buiging en normaalkracht met symmetrische wapening

buiging en
normaalkracht

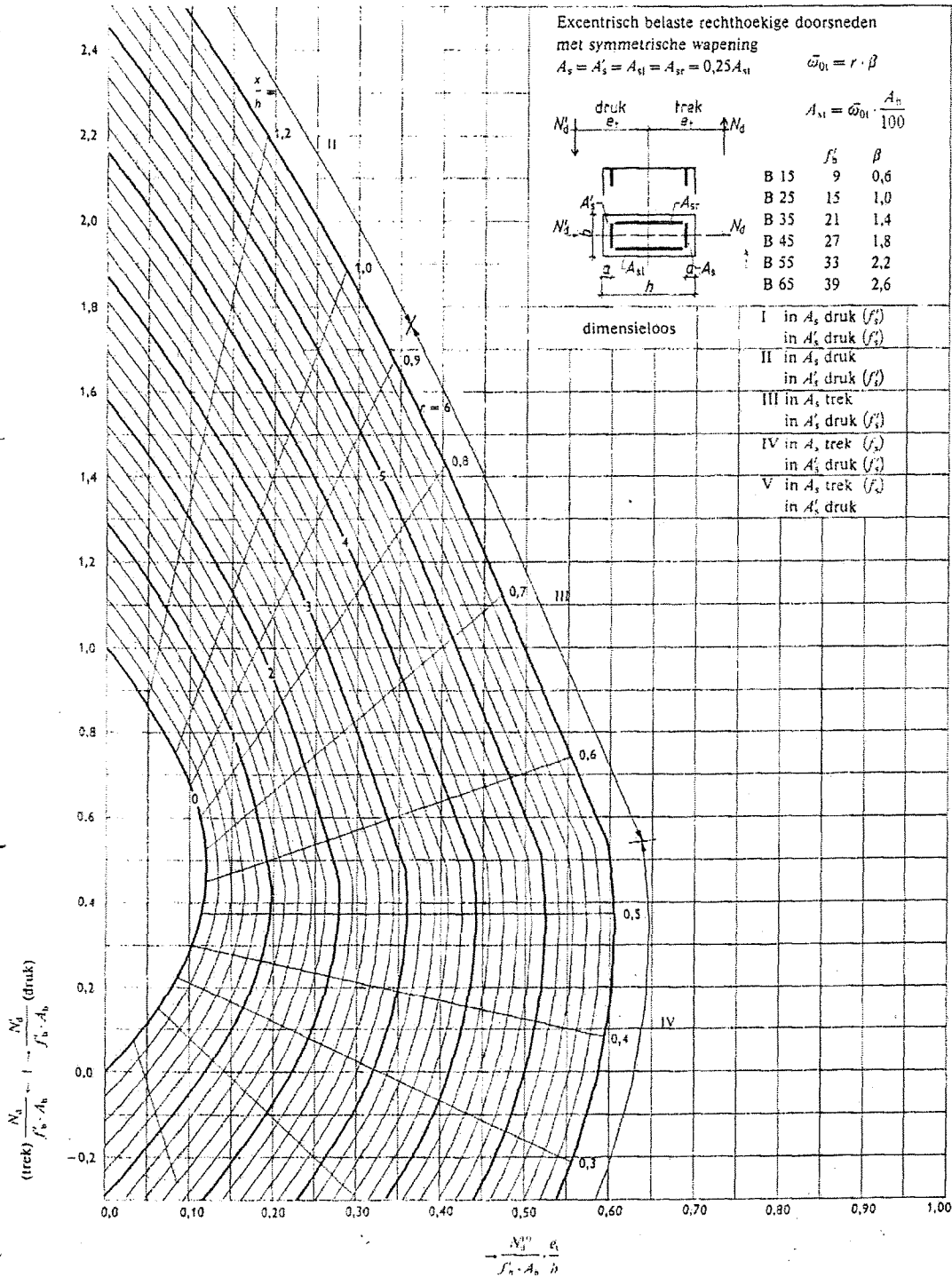
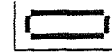
15-25-35-45-55-65 500 0,10

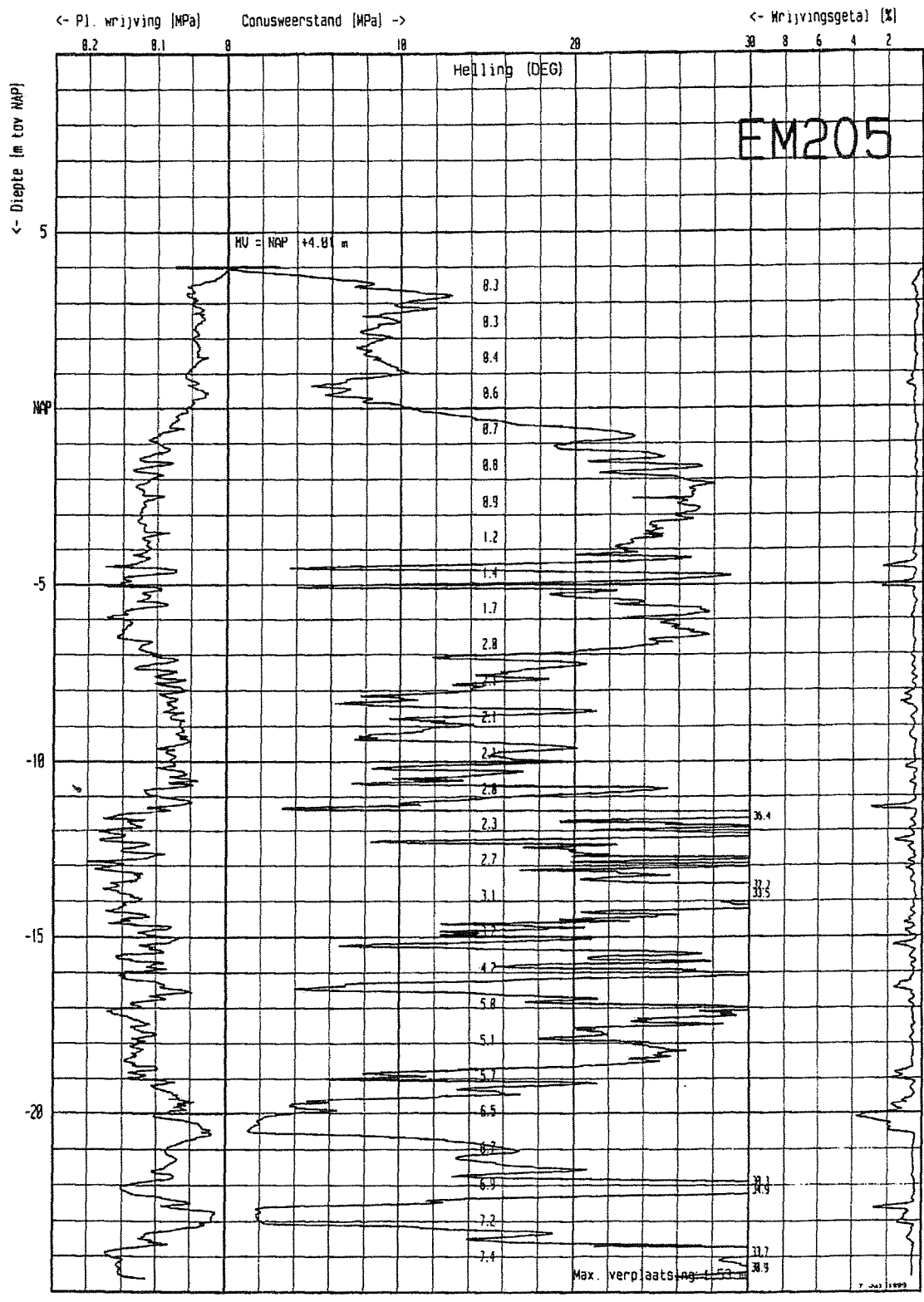


Tabel VIII.3: wapeningstabel voor buiging en normaalkracht met wapening aan alle zijden

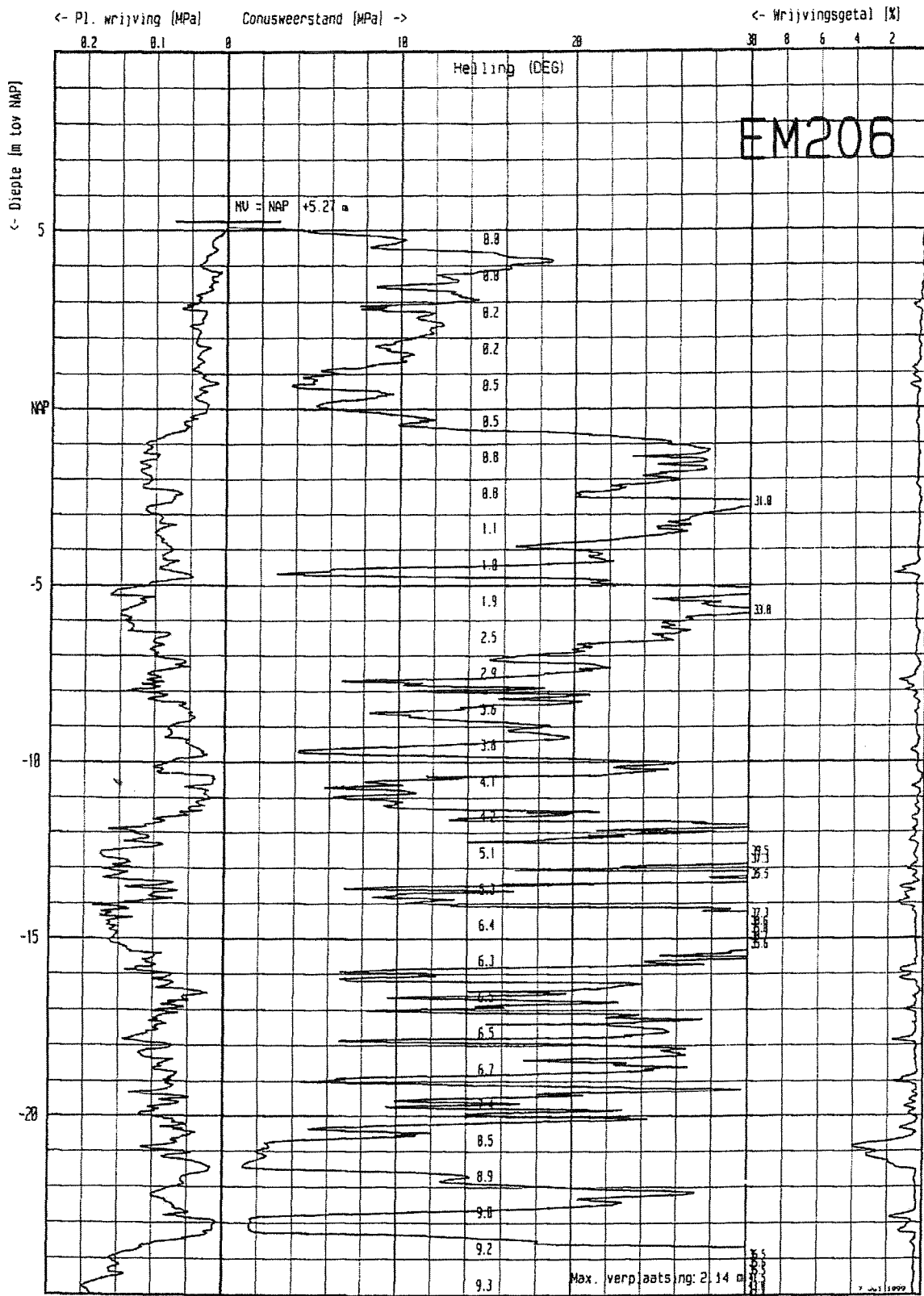
buiging en
normaalkracht

15-25-35-45-55-65 500 0,10





Figuur VIII.1: sondering 1 in de buurt van de Amazonehaven op de Delta Terminal



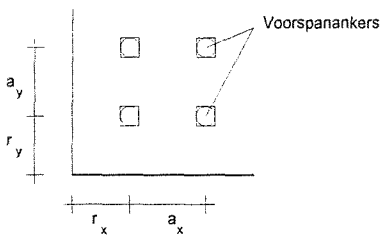
Figuur VIII.2: sondering 2 in de buurt van de Amazonehaven op de Delta Terminal

Voorspanstrengen

Tabel VIII.4: gegevens voorspanstrengen

Streng type	diameter van de streng mm	Oppervlakte mm ²
7-draads	15,7	150
	15,2	139
	12,9	100
	12,5	93
	9,3	52
	6,9	29
3-draads	7,5	29

Voorspansystemen



Voor alle in deze bijlage weergegeven voorspansystemen moeten de minimale hart-op-hart afstanden a_x en a_y en de minimale randafstanden r_x en r_y van de ankers worden geïnterpreteerd als in figuur VIII.3 is aangegeven.

Figuur VIII.3 Rand- en hart-op-hart afstanden ankers

Tabel VIII.5: Freyssinet voorspanstelsysteem met strengen type K

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	12K13	19K13	27K13	37K13	55K13	
Aantal strengen \varnothing 12.5 of \varnothing 12.9 mm	12	19	27	37	55	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	70/75	80/85	100/105	120/125	145/150	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	1250	1250	1250	1250	1250	
Afmetingen anker	Doorsnede	140	162	217	252	320
	Lengte inclusief trompet	235	268	465	548	581
Min. h.o.h. afstand anker	$a_x = a_y$	240	300	380	460	540
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	175	220	270	330	380
Diameter spiraalwapening	260	320	400	480	560	
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen	1450	1700	2000	2000	2000	

Wrijvingscoëfficiënt: 0.13 - 0.26

Wobble-factor: 0.005 – 0.010 (rad/m)

Tabel VIII.6: Freyssinet voorspanstelsysteem met strengen type K

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	7K15	12K15	19K15	27K15	37K15	
Aantal strengen \varnothing 15.2 of \varnothing 15.7 mm	7	12	19	27	37	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	70/75	80/85	100/105	120/125	145/150	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	1250	1250	1250	1250	1250	
Afmetingen anker	Doorsnede	140	162	218	252	320
	Lengte inclusief trompet	235	268	465	548	581
Min. h.o.h. afstand anker	$a_x = a_y$	240	300	380	460	540
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	175	220	270	330	380
Diameter spiraalwapening	260	320	400	480	560	
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen	1450	1700	2000	2000	2000	

Wrijvingscoëfficiënt: 0.13 - 0.26

Wobble-factor: 0.005 – 0.010 (rad/m)

Tabel VIII.7: Freyssinet voorspanstelsysteem met strengen type C

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	19C15	25C15	31C15	37C15	55C15	
Aantal strengen \varnothing 15.2 of \varnothing 15.7 mm	19	25	31	37	55	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	95/100	110/115	120/125	130/135	160/165	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belast.	1250	1250	1250	1250	1250	
Afmetingen anker	Doorsnede	195	240	240	265	310
	Lengte inclusief trompet	346	500	456	591	676
Min. h.o.h. afstand anker	a_x	280	330	350	380	450
	a_y	330	390	415	450	540
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	225	260	285	310	375
Diameter spiraalwapening	400	450	500	550	650	
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen	1350	1408	1408	1408	1493	

Wrijvingscoëfficiënt: 0.20

Wobble-factor: 0.006 (rad/m)

Tabel VIII.8: VSL voorspanstelsysteem met VMA strengen type CS

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	5-12	5-19	5-31	5-43	5-55	
Aantal strengen \varnothing 12.9 mm	12	19	31	43	55	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	65/72	80/87	100/107	130/137	140/150	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	4000	5500	6500	8000	9000	
Afmetingen anker	Doorsnede	222	258	320	390	420
	Lengte inclusief trompet	1000	1000	1500	1500	1500
Min. h.o.h. afstand anker	$a_x = a_y$	290	365	465	550	620
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	145	183	233	275	310
Diameter spiraalwapening	250	300	395	480	545	
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen	1300	1500	1500	2200	2200	

Wrijvingscoëfficiënt: 0.13 - 0.26

Wobble-factor: 0.005 – 0.010 (rad/m)

Tabel VIII.9: VSL voorspanstelsysteem met VMA strengen type CS

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	6-12	6-19	6-22	6-31	6-37	
Aantal strengen Ø 15.7 mm	12	19	22	31	37	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	80/87	95/102	110/117	130/137	140/150	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	5000	6500	7000	8500	9000	
Afmetingen anker	Doorsnede	258	300	320	390	420
	Lengte inclusief trompet	1000	1000	1500	1500	1500
Min. h.o.h. afstand anker	$a_x = a_y$	355	445	480	570	625
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	178	233	240	285	313
Diameter spiraalwapening		250	290	375	410	545
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen		1500	1500	2000	2200	2200

Wrijvingscoëfficiënt: 0.13 - 0.26

Wobble-factor: 0.005 – 0.010 (rad/m)

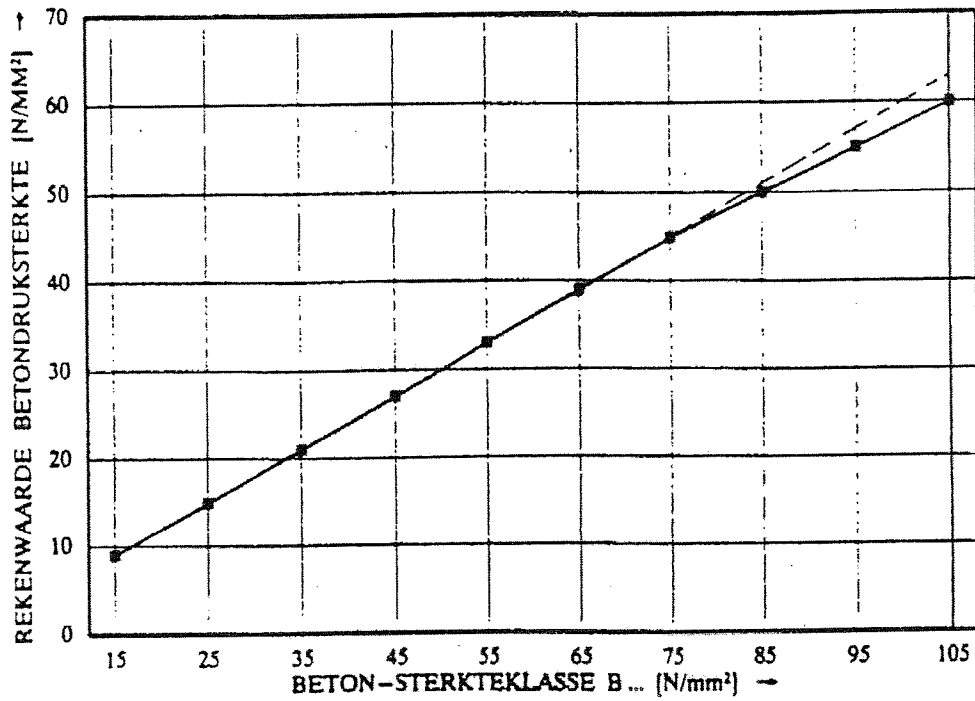
Tabel VIII.10: VSL voorspanstelsysteem met VMA strengen type E

Typeaanduiding	Kabelgegevens					
	6-12	6-19	6-22	6-31	6-37	
Aantal strengen Ø 15.7 mm	12	19	22	31	37	
Diameter standaard omhullingsbuis in-/uitwendig	80/87	95/102	110/117	130/137	140/150	
Min. buigstraal met standaard omhullingsbuis bij max. belasting	5000	6500	7000	8500	9000	
Afmetingen anker	Doorsnede	245	310	335	395	430
	Lengte inclusief trompet	1000	1000	1500	1500	1500
Min. h.o.h. afstand anker	$a_x = a_y$	325	405	440	520	570
Min. randafstand anker	$r_x = r_y$	163	203	220	260	285
Diameter spiraalwapening		300	380	410	490	540
Min. ruimte voor het anker i.v.m. spannen		1500	1500	2000	2200	2200

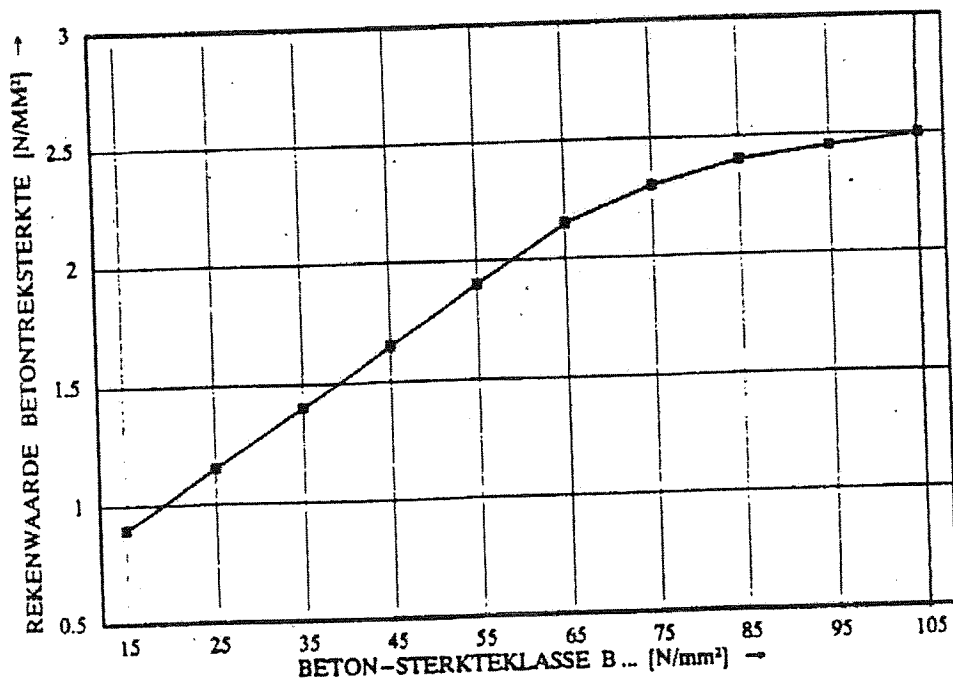
Wrijvingscoëfficiënt: 0.13 - 0.26

Wobble-factor: 0.005 – 0.010 (rad/m)

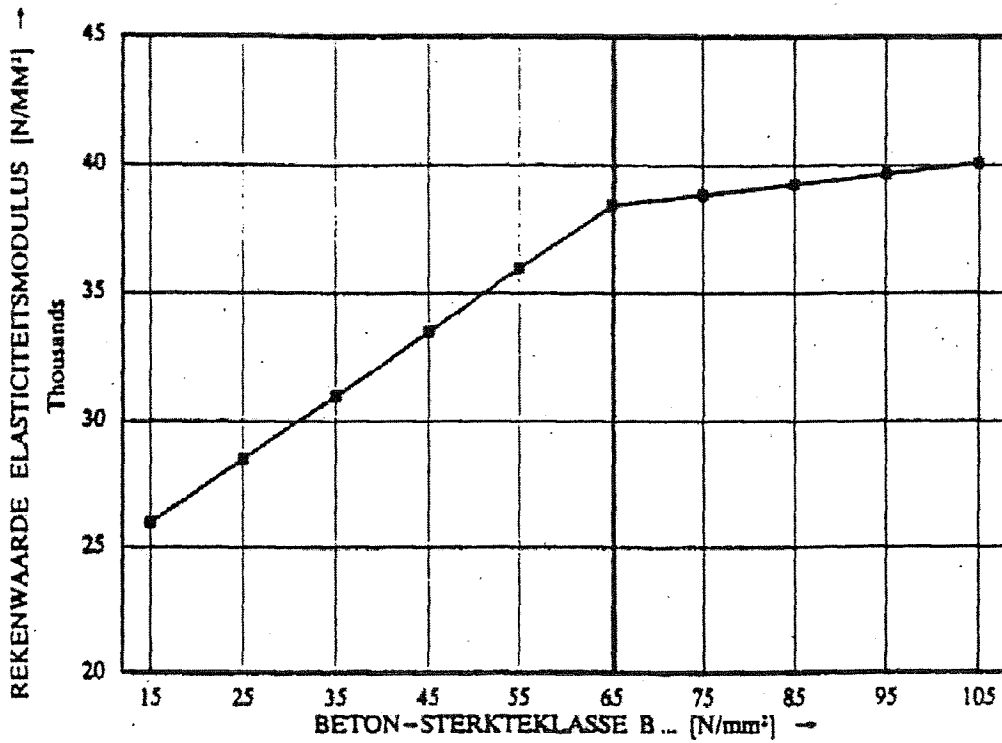
Tabellen en grafieken Hoge Sterkte Beton



Figuur VIII.4: relatie tussen de beton-sterkteklasse en de rekenwaarde betondruksterkte



Figuur VIII.5: relatie tussen de beton-sterkteklasse en de rekenwaarde betontreksterkte



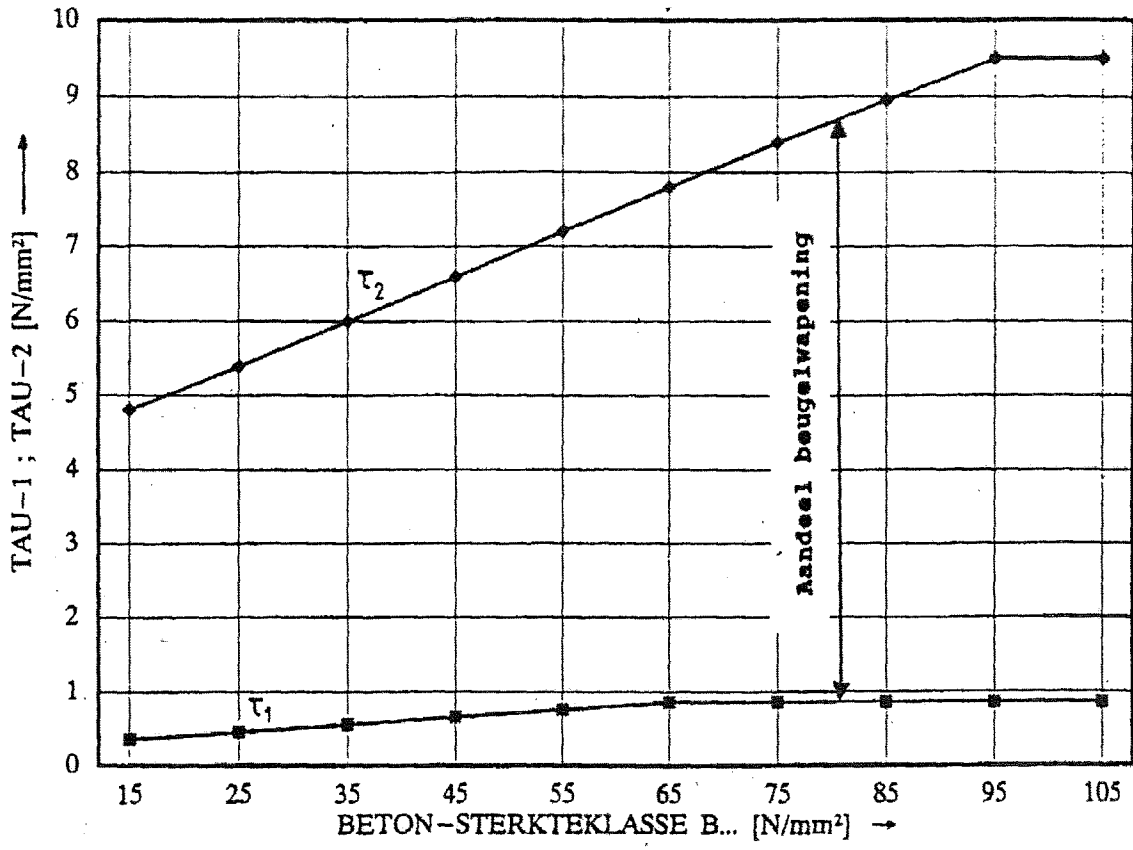
Figuur VIII.6: relatie tussen de beton-sterkteklasse en de elasticiteitsmodulus

Tabel VIII.11: materiaaleigenschappen hoge sterkte beton, in N/mm²

sterkteklasse	f_{ck}	f_b ^{*)}	f_b	f_{bm}	E'_b
B65	65	39	2,15	4,3	38500
B75	75	45	2,25	4,6	38900
B85	85	50	2,35	4,8	39300
B95	95	55	2,45	5,0	39700
B105	105	60	2,55	5,2	40100

^{*)} naar boven afgeronde waarden.

DWARSKRACHTSTERKTE MET BEUGELWAPENING



Figuur VIII.7: uiterst opneembare schuifspanning τ_2 voor hoge sterkte beton

Bijlage IX:

Kostenberekeningen

- Specificatie betonwerk kosten

Specificatie betonwerk kosten

De kosten voor de ondergrondse ruimte waarin zich de opslag voor koelcontainers en het distributiecentrum bevindt, worden als de extra investering op de terminal beschouwd.

Tijdens de uitvoering ontstaat het grootste deel van de bouwkosten:

- materiaal verbruik (beton en staal)
- inzet van mensen en materieel

Dit zijn de directe kosten. Daarnaast zijn er nog uitvoeringskosten en algemene kosten.

Onder uitvoeringskosten wordt onder andere verstaan de kosten van indirect personeel, keten, bouwplaats, materieel (niet voor transport) en kantoor. Algemene kosten bestaan onder andere uit risico, winst en rente.

In deze studie worden alleen de directe kosten beschouwd, omdat de overige kosten toch al aanwezig zijn bij de bouw van de terminal.

materiaalkosten en manuren^(27,30)

In deze paragraaf worden de prijzen van beton, bekisting, wapening en voorspanning gegeven, waarvan bij de berekening van de extra investering wordt uitgegaan. Ook zullen de kosten van een manuur worden bepaald en hoeveel manuren er nodig zijn om bijvoorbeeld 1 m³ beton te verwerken. De prijzen zijn gebaseerd op het prijspeil uit 1995.

▪ Kosten van een manuur all in

voor beton en bekisting	: f 60,-
- in ploegendienst	: f 75,-
voor wapeningsvlechter	: f 65,-
- in ploegendienst	: f 81,25

▪ Beton

in vloeren en balken	: f 140,-/m ³ + 0,8 mu/m ³
in wanden met $t_w \geq 250$ mm	: f 140,-/m ³ + 1,6 mu/m ³
in wanden met $t_w < 250$ mm	: f 140,-/m ³ + 2,0 mu/m ³

▪ Wapening

betonstaal	: f 650,- /ton
plus knippen, buigen, transport voor $\varnothing > 25$ mm	: f 90,- /ton
plus knippen, buigen, transport voor $\varnothing \leq 25$ mm	: f 160,- /ton
plus knippen, buigen, transport voor beugels	: f 160,- /ton
plus vlechten voor $\varnothing \geq 25$ mm	: 8 mu/ton
plus vlechten voor $\varnothing 12, \varnothing 16$ en $\varnothing 20$: 10 mu/ton
plus vlechten voor $\varnothing 6, \varnothing 8$ en $\varnothing 10$: 12 mu/tpm

▪ Voorspanstaal

De totale kostprijs per kabel: $A \cdot L + B$

A = kosten per meter kabel = A₁₂

B = kosten per kabel = B₁₂

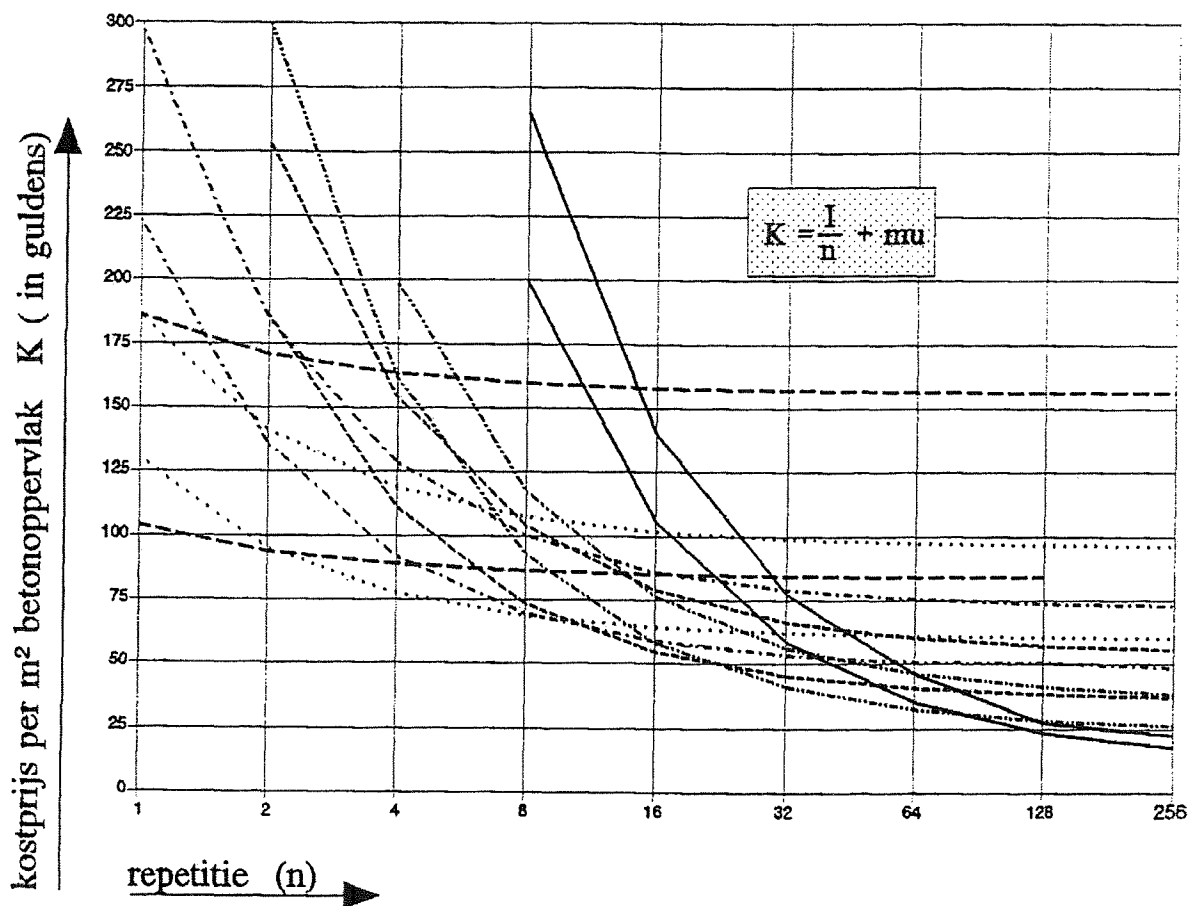
L = lengte kabel

▪ Bekisting

Voor de kosten van de bekisting wordt uitgegaan van tabel 11.1 en figuur 11.1. In deze tabel staan de kosten voor verschillende typen bekistingen. De bekistingkosten bestaan uit materieelkosten (I) en loonkosten (mu) voor het bekisten en ontkisten. Over het algemeen kan gezegd worden dat hoe duurder de bekisting is, des te minder het aantal manuren (mu) en een geringere spreiding inzake I en mu.

Tabel IX.1: kosten van verschillende type bekistingen

Leerfactor φ	Type bekisting		Materieelkosten (in guldens) per m ²	Manuren per m ² ($\varphi=1$)	Spreiding in %
1,0	Stalen kist voor fabrieksprefabricage	—————	1500 – 2000	0,2 – 0,25	10
1,0	Stalen bekisting met vijzels en scharnieren	- - - - -	550 – 650	0,4 – 0,6	20
0,95	Stalen kist met houten beplating als b.v. tunnelkist, systeemkist	- - - - -	300 – 400	0,6 – 0,9	20
0,9	Stalen frame met hout als b.v. voor wanden	- - - - -	175 – 225	0,8 – 1,2	20
0,85	Half systeem, hout	70 – 90	1,0 – 1,6	25
0,8	Traditioneel	- - - - -	20 - 30	1,4 – 2,6	30



Figuur IX.1: kosten voor verschillende soorten bekisting

In het voorgaande is er een opsomming gemaakt van de kosten voor beton, wapening, bekisting en de manuren. Deze opsomming is gemaakt om een indruk te krijgen van deze kosten. In de berekening van het hoofdrapport wordt uitgegaan van een eenheidsprijs per m^3 , omdat het hier gaat om een globale kostenberekening. De eenheidsprijs per m^3 die wordt aangehouden is fl 500,-. Hieronder zal per constructieonderdeel de m^3 beton worden bepaald en worden aangegeven of dit constructiedeel een hogere of lagere eenheidsprijs heeft.

- Dakplaten.
De dakplaten hebben een betonvolume van: $0,4 \cdot 221 \cdot 208 = 18400 m^3$. De dakplaten zijn relatief goedkoop. De bekisting kan meerdere keren gebruikt worden en de betonkwaliteit is B35. Vaak worden de platen geprefabriceerd.
- Voorgespannen liggers in dakconstructie
Een voorgespannen ligger heeft een volume van: $1,27 \cdot 13 = 16,5 m^3$. Er zijn 255 voorgespannen, waardoor er $4210 m^3$ beton nodig is. De eenheidsprijs van voorgespannen liggers zal flink hoger zijn dan fl 800,-. De liggers hebben veel voorspankabels en zijn uitgevoerd in hoge sterkte beton.
- Kolommen
Een kolom heeft een betonvolume van ongeveer: $8,6 \cdot 0,7^2 = 4,2 m^3$. Er staan 240 kolommen, dus het totale volume wordt: $1008 m^3$. De eenheidsprijs van de kolommen zal goedkoper zijn dan de aangehouden eenheidsprijs. De bekisting kan meerdere keren worden gebruikt. Alleen voor de kolommen met consoles vragen extra arbeid. De kolommen worden in B35 uitgevoerd.
- Wanden
De zijn 3 buitenwanden die meetellen. Twee wanden van 221 meter en een wand van 208 meter. De wanden zijn ongeveer 10 meter hoog. Het totale volume wordt nu ongeveer: $2 \cdot 221 \cdot 10 \cdot 0,6 + 208 \cdot 10 \cdot 0,6 = 3900 m^3$. De kosten voor de wanden zullen wat hoger uitvallen door de verticale voorspanning en de verankering die eventueel moet worden aangebracht.
Daarnaast worden de wanden van de opstelplaats voor de vrachtwagens nog meegenomen. het volume van deze wanden wordt gehouden op:
 $(40 + 40 + 208) \cdot 10 \cdot 0,6 = 1728 m^3$.
- Vloer
Het volume van de vloer volgt uit: $221 \cdot 208 \cdot 1,5 = 69000 m^3$. De betonkosten voor de vloer zijn laag. De grote hoeveelheid beton die gestort moet worden en de wapening en repetitie halen de prijs per m^3 flink naar beneden. De vloer bij de opstelplaats voor vrachtauto's wordt voor het gemak op 2,5 meter dik geschat. De oppervlakte is 40 x 80 meter, waardoor het betonvolume komt op ongeveer $8000 m^3$.
- Trekpalen
De trekpalen staan hart op hart 5 meter. Dit betekent dat er totaal:
 $\frac{208 \cdot 221}{25} + \frac{40 \cdot 80}{25} = 1970$ palen nodig zijn. De vibro combi palen kosten ongeveer fl4500,- per stuk.

Het totale betonvolume staat weergegeven in tabel IX.2

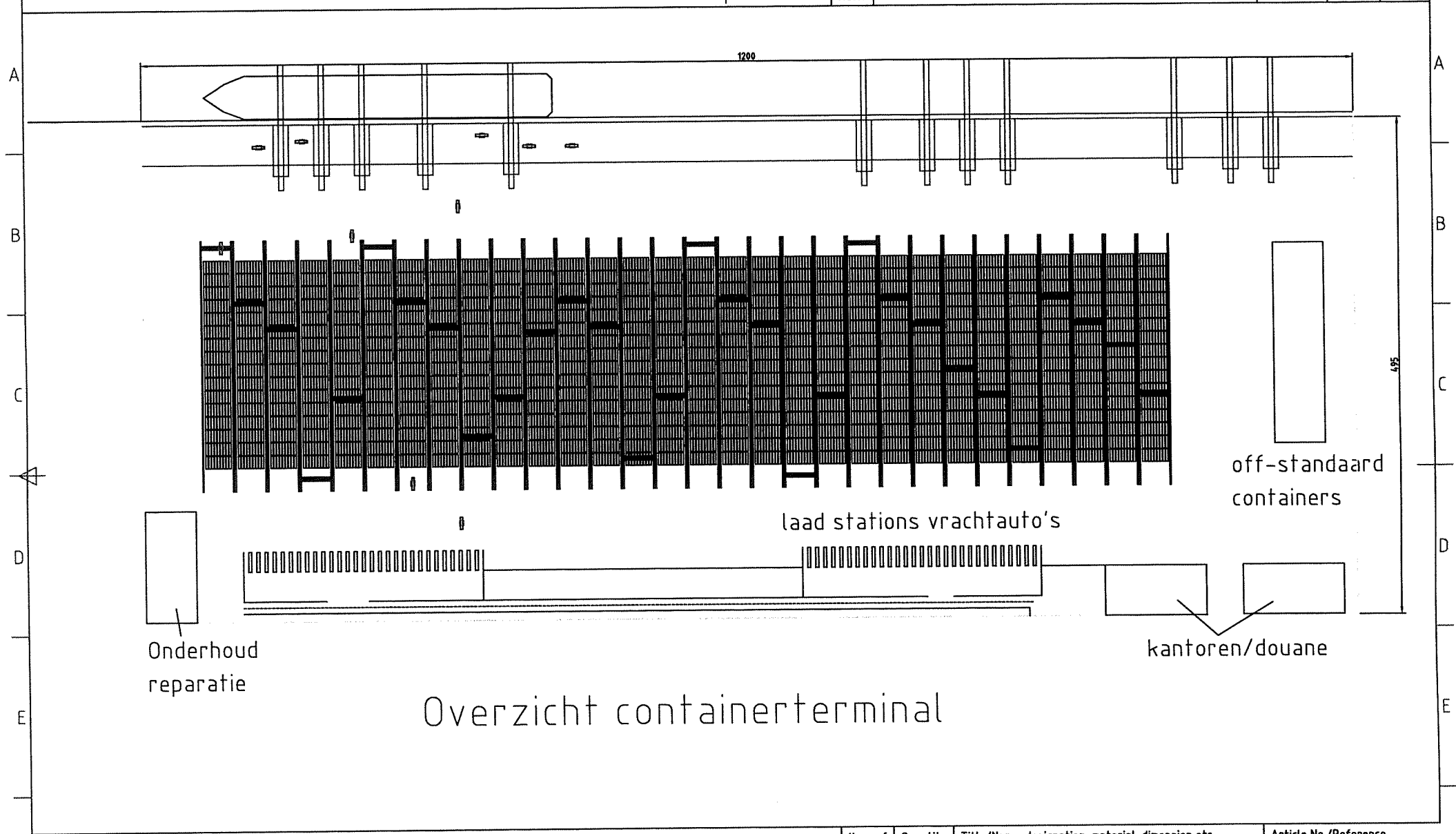
Tabel IX.2: betonvolumes per constructie onderdeel in m³

dakplaten	18400
voorgespannen liggers	4210
kolommen	1008
wanden	5628
vloer	77000
Totaal	106246

Bijlage X:

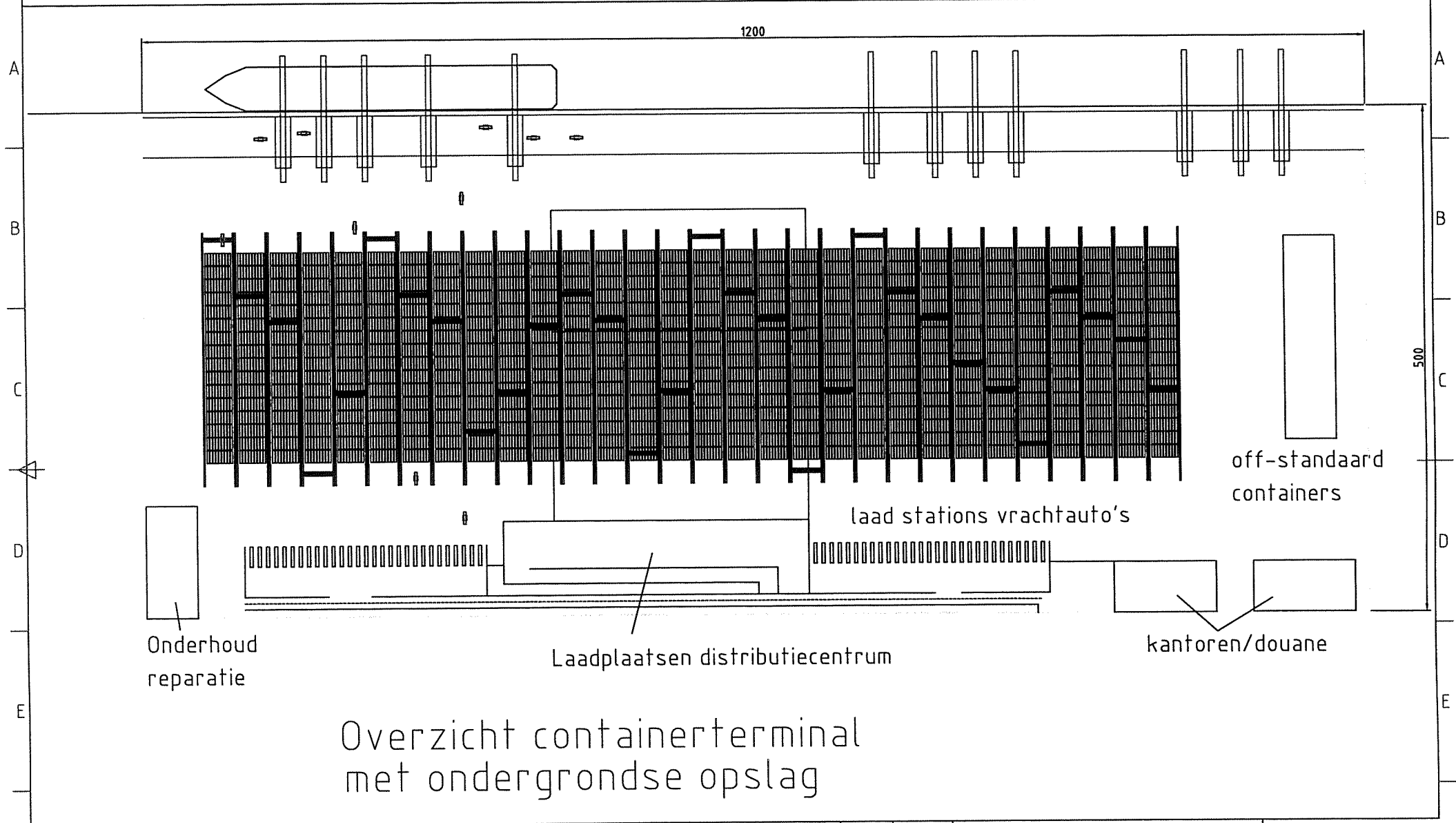
Tekeningen

- Tekening 1: overzichtstekening
- Tekening 2: overzichtstekening met ondergrondse opslag
- Tekening 3: liftconcept
- Tekening 4: rijbaanconcept
- Tekening 5: openingconcept
- Tekening 6: doorsnedes concepten
- Tekening 7: bovengrondse variant
- Tekening 8: functioneel ontwerp



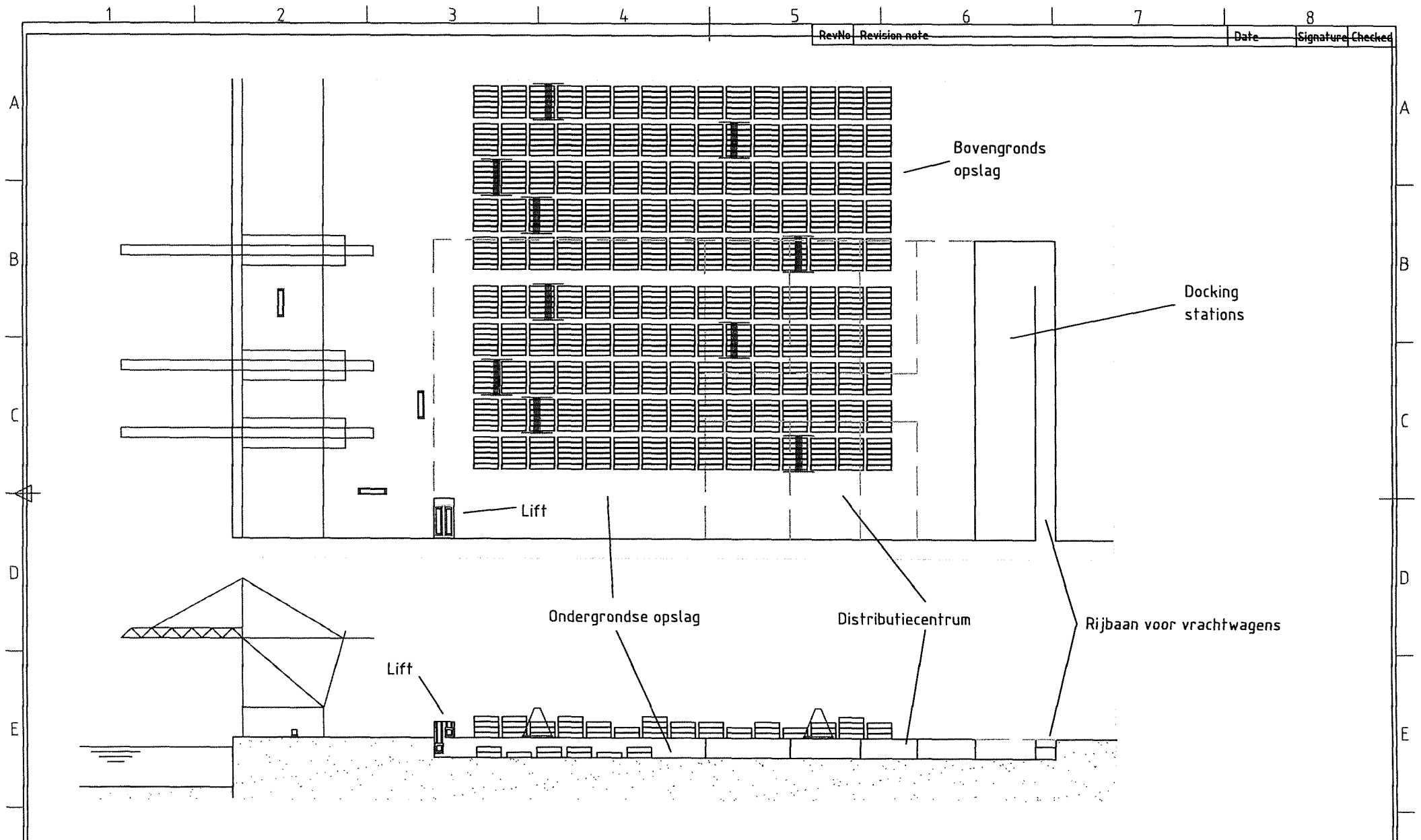
Overzicht containerterminal

Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by DESIGNED_BY	Checked by CHECKED_BY	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	Filename FILENAME	Date DATE	Scale SCALE	
NIELS_DEKKER			OVERZICHTSTEKENING			
			TEKENING_1		Edition EDITION	Sheet SHEET



Overzicht containerterminal met ondergrondse opslag

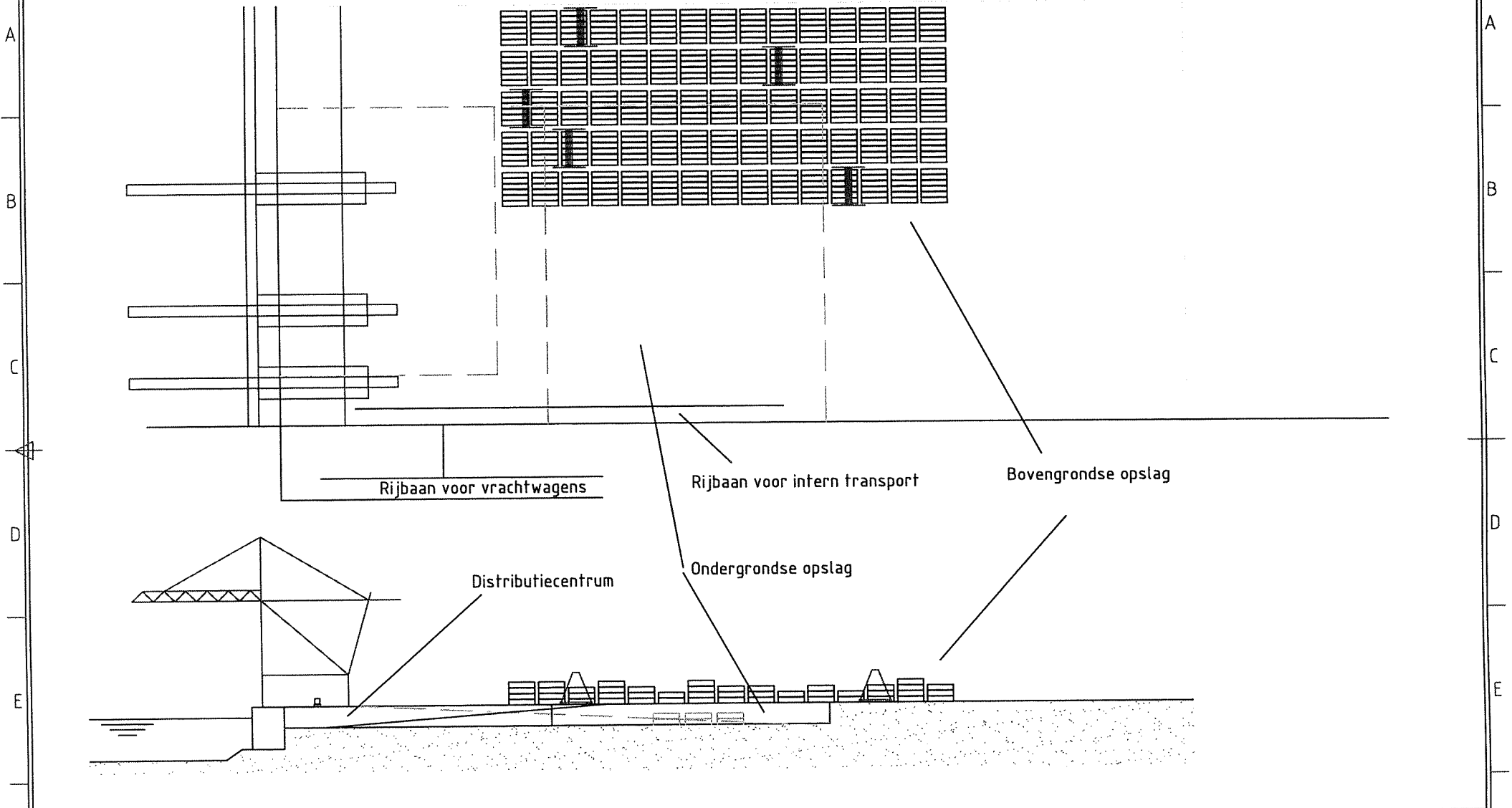
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by DESIGNED_BY		Checked by CHECKED_BY	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	Filename FILENAME	Date DATE	Scale SCALE
NIELS_DEKKER		OVERZICHTSTEKENING				
		TEKENING_2				
					Edition EDITION	Sheet SHEET
					8	



-	-	-	-	-
Designed by NIELS_DEKKER	Checked by -	Approved by - date -	Filename VARIANT1	Date 15/01/01
NIELS_DEKKER			LIFTCONCEPT	
			TEKENING_3	Edition -
				Sheet -

1 2 3 4 5 6 7 8

RevNo. Revision note Date Signature Checked

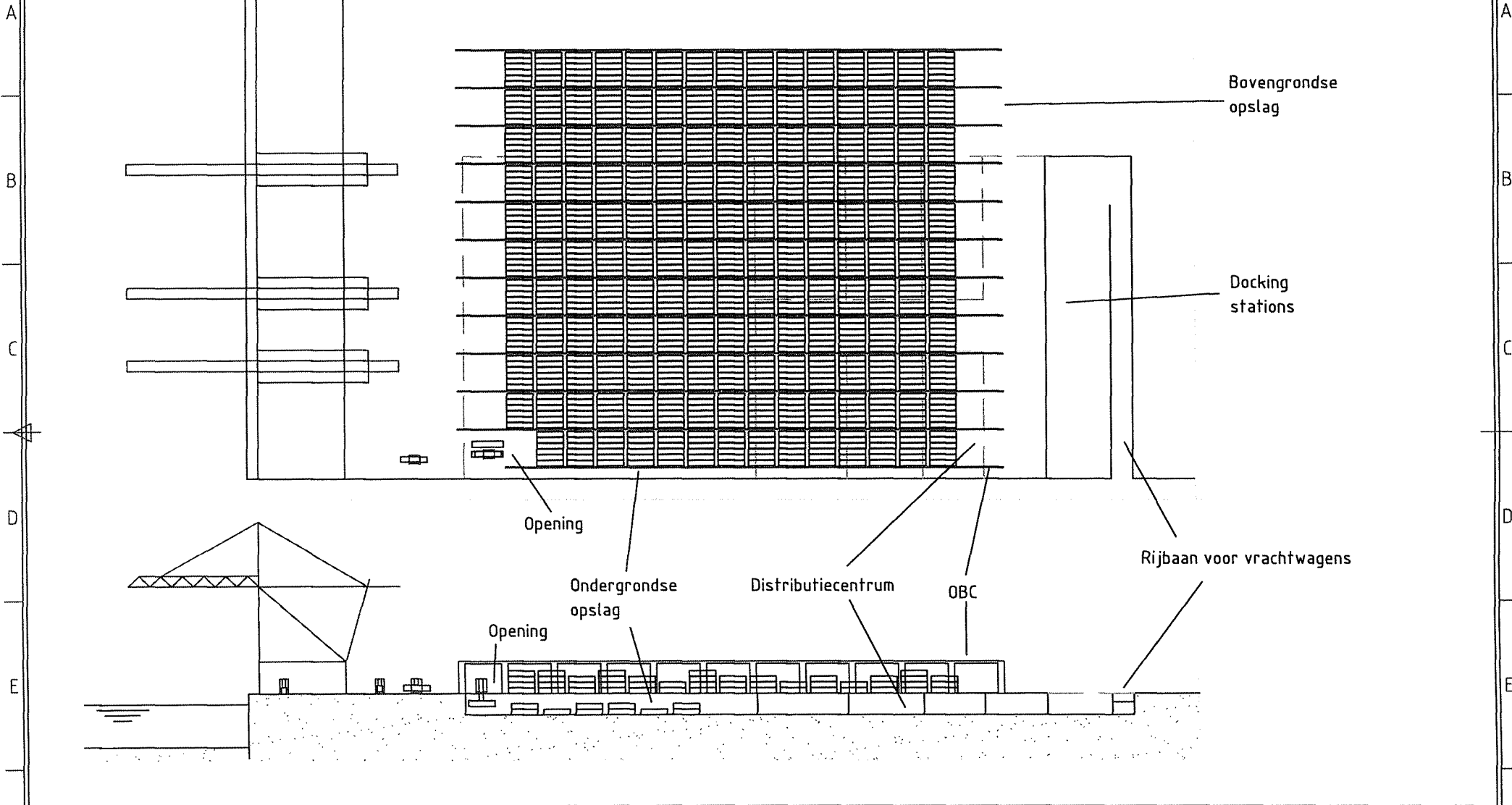


-	-	-	-	-	-
Designed by NIELS_DEKKER	Checked by -	Approved by - date -	Filename VARIANT1	Date 15/01/01	Scale MM
NIELS_DEKKER			RIJBAANCONCEPT		
			TEKENING_4	Edition -	Sheet -

1 2 3 4 5 6 7 8

1 2 3 4 5 6 7 8

RevNo. Revision note Date Signature Checked



-	-	-	-	-	-
Designed by NIELS_DEKKER	Checked by -	Approved by - date -	Filename VARIANT1	Date 15/01/01	Scale MM
NIELS_DEKKER			OPENINGCONCEPT		
			TEKENING_5	Edition -	Sheet -

A

B

C

D

E

F

A

B

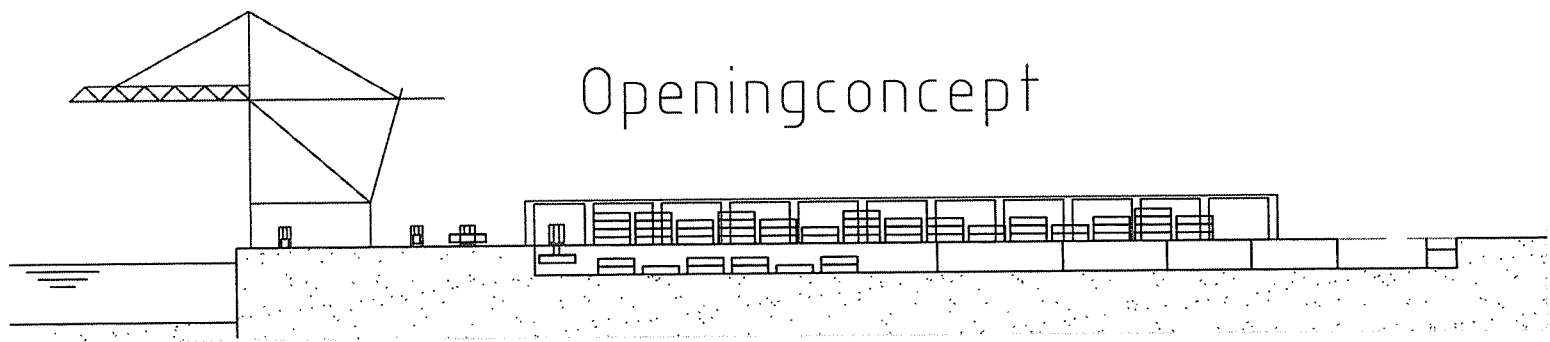
C

D

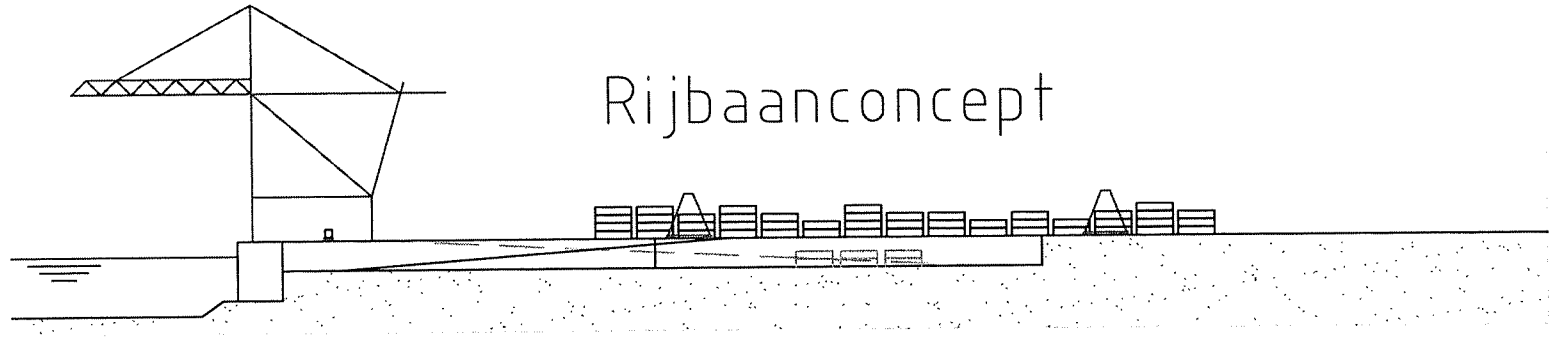
E

F

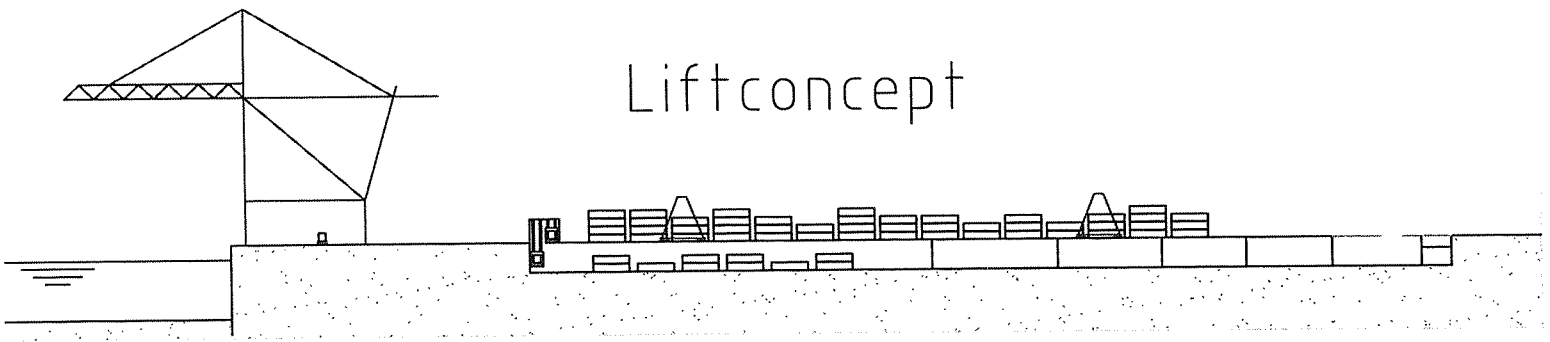
Openingconcept



Rijbaanconcept



Liftconcept



-	-	-	-	-	-
Designed by NIELS_DEKKER	Checked by -	Approved by - date -	Filename VARIANT1	Date 15/01/01	Scale MM
NIELS_DEKKER			DOORSNEDES_CONCEPTEN		
			TEKENING_6	Edition -	Sheet -

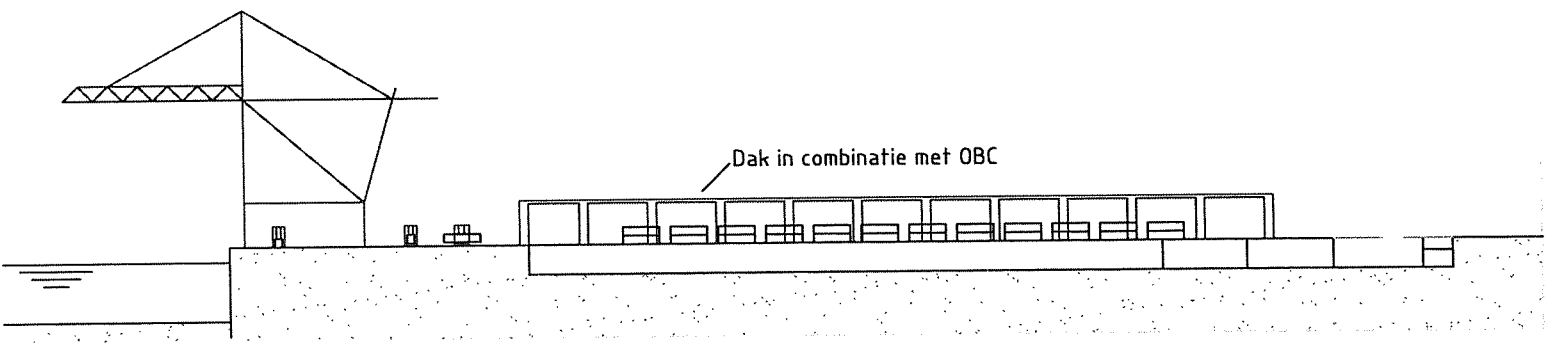
1 2 3 4 5 6 7 8

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked
-------	---------------	------	-----------	---------

A
B
C
D
E
F

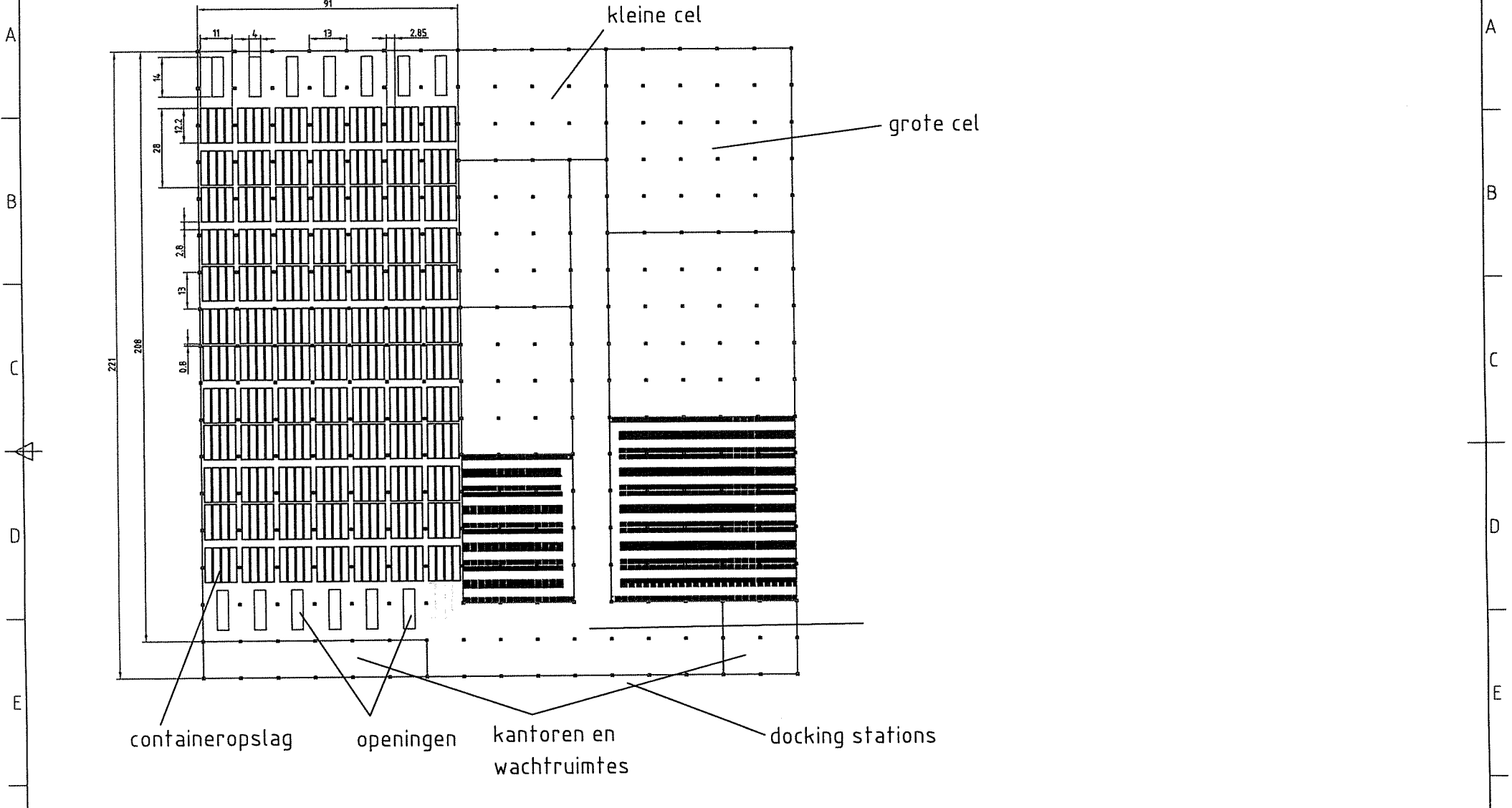
A
B
C
D
E
F

Variant 4: koelcontainers bovengronds opgeslagen, beschermd tegen wind en zon
 Distributiecentrum ondergronds, onder opslag koelcontainers



-	-	-	-	-	-
Designed by NIELS_DEKKER	Checked by -	Approved by - date -	Filename VARIANT1	Date 15/01/01	Scale MM
NIELS_DEKKER			BOVENGRONDSE_VARIANT		
			TEKENING__7	Edition -	Sheet -

1 2 3 4 5 6 7 8



Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by DESIGNED_BY	Checked by CHECKED_BY	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	Filename FILENAME	Date DATE	Scale SCALE	
NIELS_DEKKER			FUNCTIONEEL_ONTWERP			
			TEKENING_8	Edition EDITION	Sheet SHEET	