

3-37@bc

1981

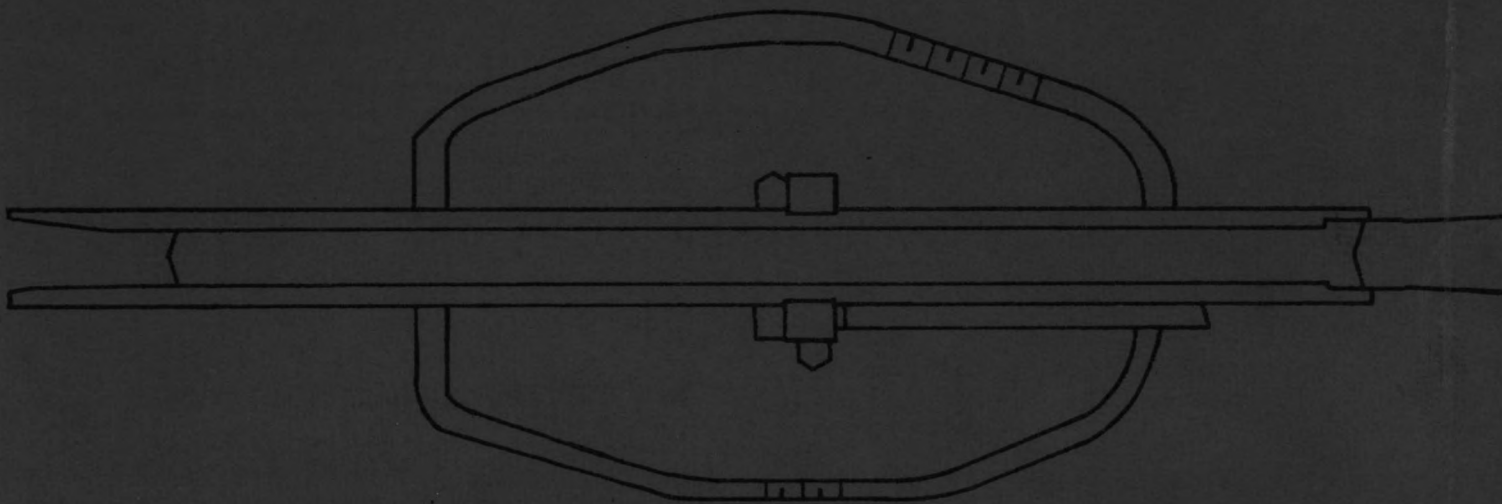
Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek



VAN DER
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
JH Delft

UITBREIDING VAN HET SLUISCOMPLEX TE PANHEEL

Vooronderzoek



Jan Bol
Marinus Meijer

Technische Hogeschool Delft
Afdeling der Civiele Techniek

UITBREIDING VAN HET SLUISCOMPLEX TE PANHEEL

vooronderzoek

Jan Bol
Marinus Meijer
juni 1980

VOORWOORD

Dit verslag, met de ondertitel Vooronderzoek, is het eerste gedeelte van ons beider afstudeerwerk. Dit vooronderzoek is door ons gezamenlijk verricht, terwijl de rest van het afstudeerwerk door elk van ons beiden individueel verricht wordt.

Het oorspronkelijke afgeronde verhaal beslaat de hoofdstukken 1 tot en met 6. Hoofdstuk 7 is later toegevoegd en geeft een overzicht van gemaakte opmerkingen, die het verhaal vollediger maken en hier en daar corrigeren.

In tegenstelling tot wat gebruikelijk is zijn de bronvermeldingenⁿ alle bij elkaar gezet. U vindt ze achteraan.

Jan Bol

Marinus Meijer

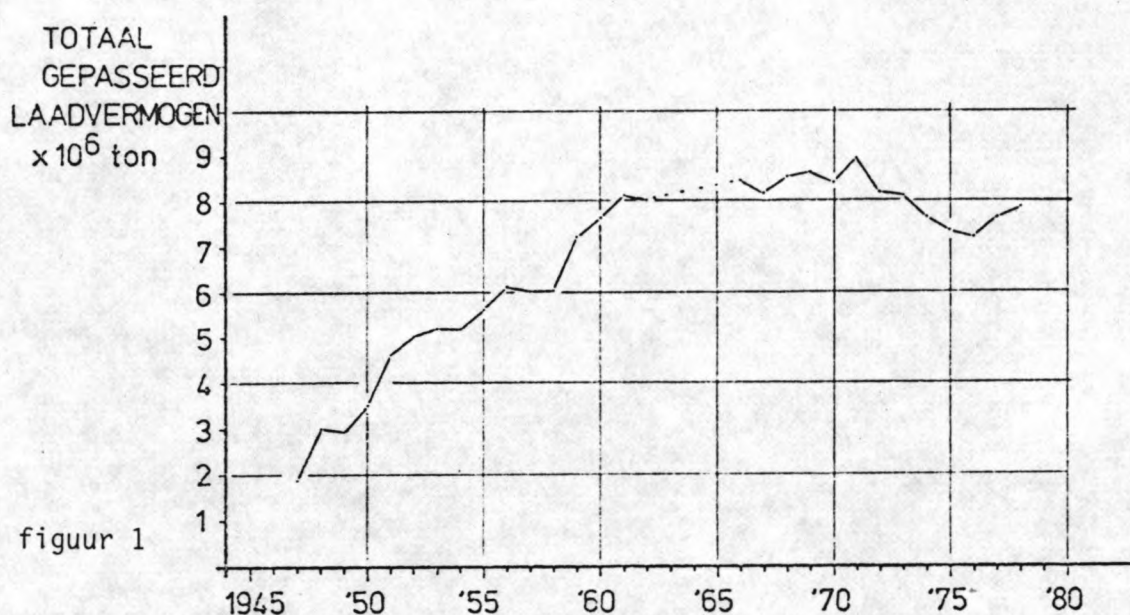
juni 1980

INHOUD

Voorwoord	
Inhoud	
1. Inleiding	1
2. Historisch overzicht	8
3. Prognose voor de te verwachten scheepvaart- bewegingen	12
4. Het opstellen van mogelijke en relevante alternatieven	19
5. Bepaling schutcapaciteit van de alternatieven	21
5.1. Inleiding	21
5.2. Capaciteitsberekening	21
5.2.1. Te hanteren notatie	21
5.2.2. Recept van de capaciteitsberekening	22
5.2.3. Algemene gegevens en eisen	24
5.2.4. De bedieningstijd	25
5.2.5. Werkelijke capaciteitsberekening	25
6. Vergelijking van kosten	40
6.1. Inleiding	40
6.2. Grondverzet	40
6.3. Globaal overzicht van de constructies	43
6.4. Waterverbruik	55
6.5. Kostprijsberekening gemalen	57
6.6. Kostprijsberekening van de alternatieven	61
6.7. Bedrijfskosten	68
6.8. Vergelijking van de kosten	71
6.9. Conclusies uit de kostenvergelijking	74
7. Aanvullingen en uitbreidingen	75
Lijst van tabellen en figuren	
Bronvermeldingen	
Literatuurlijst	
bijlage 1. Ontwerpboom voor het opstellen van mogelijke alternatieven	
bijlage 2. Bedieningstijden van de verschillende alternatieven	
bijlage 3. Grondverzet voor de diverse alterna- tieven	
Samenvatting	

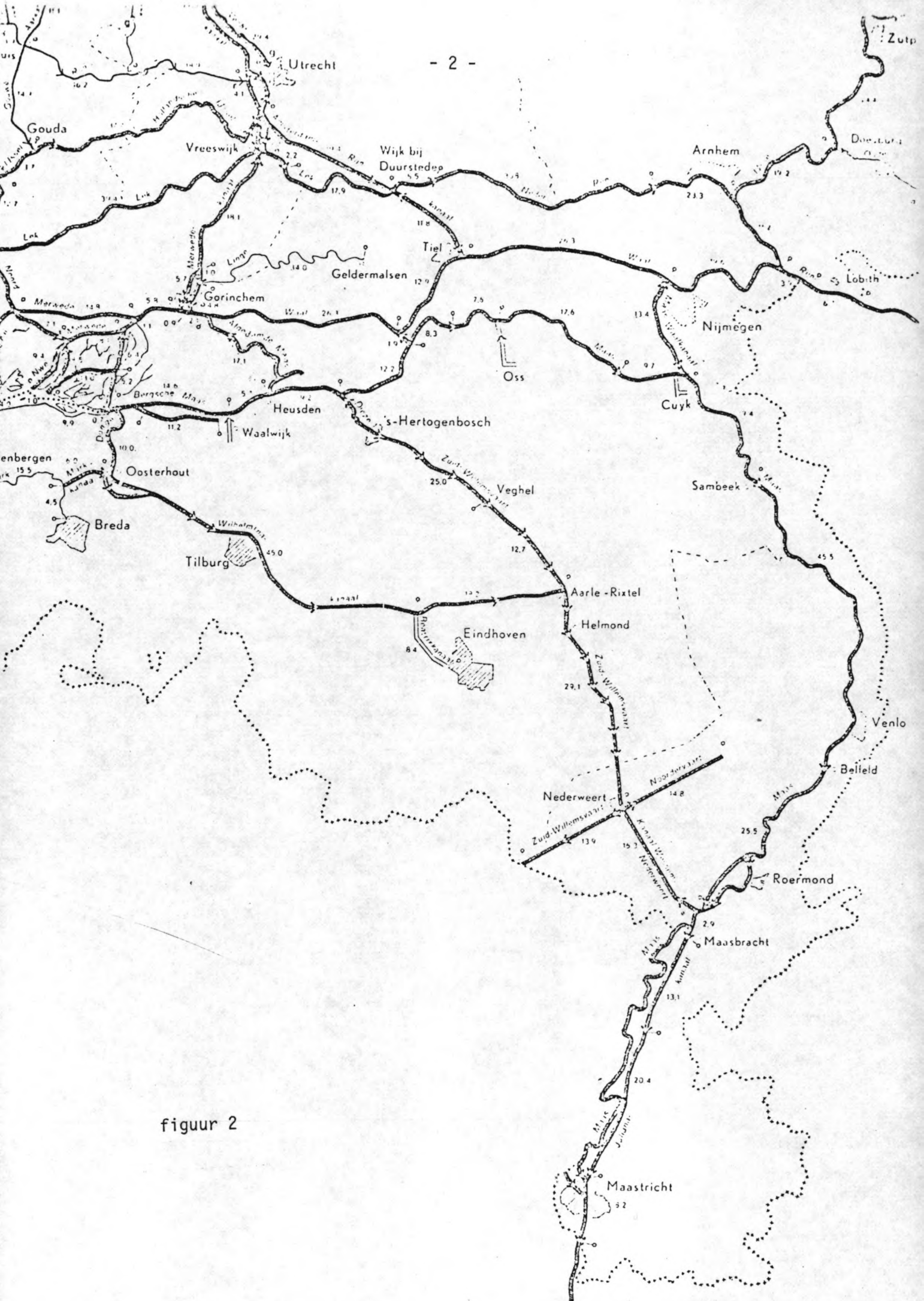
1. Inleiding

Het doel van ons afstudeerwerk is, zoals ook al uit de titel van het gehele werk blijkt, het ontwerpen van een oplossing voor de uitbreiding van het sluiscomplex te Panheel in het kanaal Wessem-Nederweert. Dat deze uitbreiding inderdaad gewenst is laat zich verklaren m.b.v. onderstaande figuur, waaruit duidelijk de economische betekenis blijkt van dit kanaal.



In deze figuur staat de totaal gepasseerde hoeveelheid laadvermogen per jaar vermeld. Duidelijk is dat in de periode na de tweede wereldoorlog het belang van het kanaal sterk is toegenomen.

De in die periode opgetreden sterke groei heeft zich echter na 1961 niet voortgezet. Sinds die tijd is het gepasseerde laadvermogen vrij stabiel gebleven, al was er nog sprake van een lichte groei. Na 1972 is echter een duidelijke teruggang te bemerken. De oorzaak hiervan is vermoedelijk gelegen in de onvoldoende capaciteit van het kanaal Wessem-Nederweert en de daarop aansluitende Zuid-Willemsvaart, en onvoldoende capaciteit van de sluis te Panheel (zie kaartje van Z-O Nederland, figuur 2). De uitbreiding van het sluiscomplex Panheel is dan ook een onderdeel van een groter geheel, namelijk de verruiming van beide bovengenoemde kanalen naar een



figuur 2

klasse IV vaarweg.

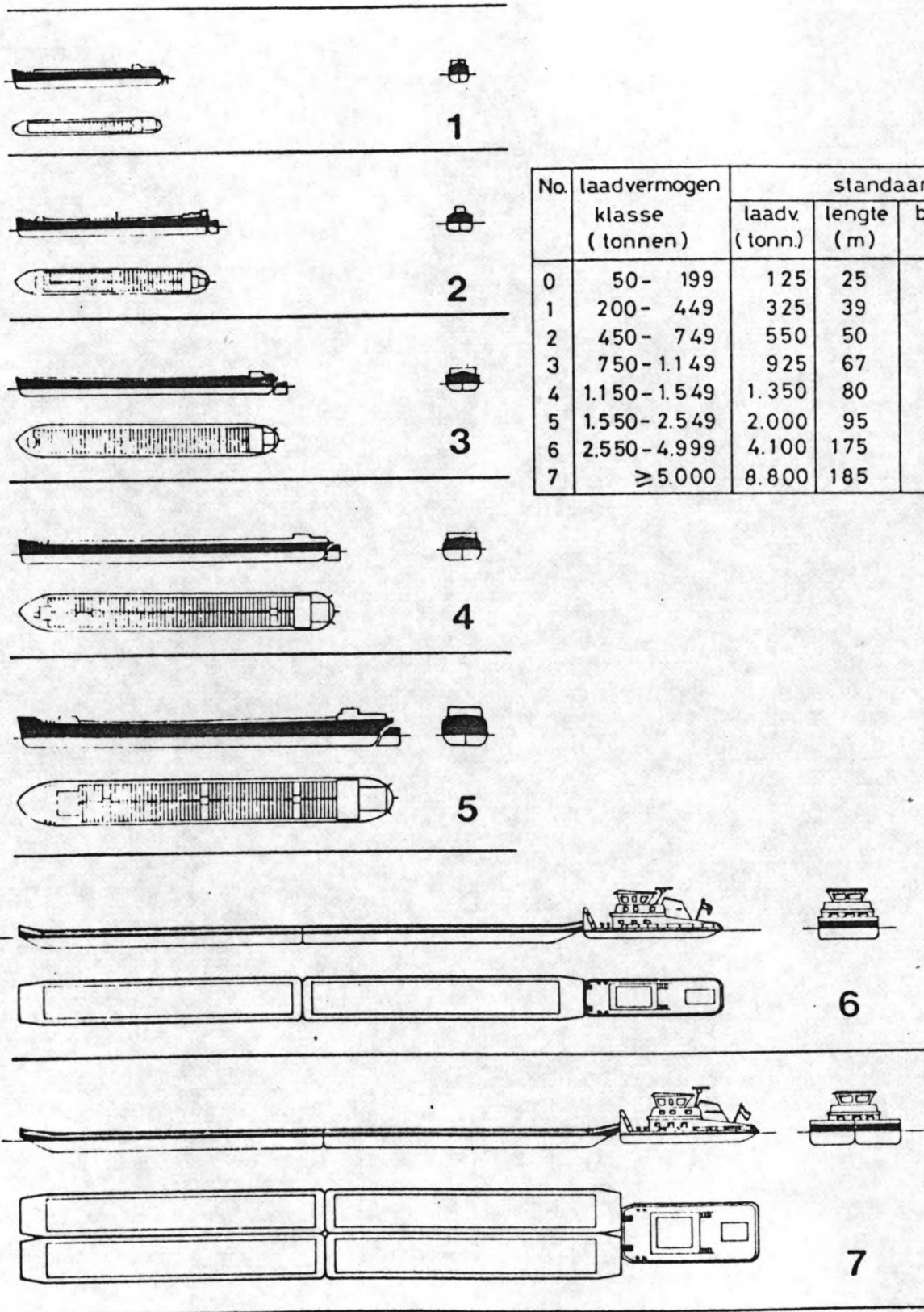
De klasse-indeling van vaarwegen is gebaseerd op een indeling van de binnenvaartvloot in laadvermogensklassen. Uit deze laadvermogensklassen heeft men een aantal meest voorkomende schepen als standaard- of maatschip gekozen. De verdeling in laadvermogensklassen en de afbeelding van de maatschepen zijn gegeven in figuur 3 respectievelijk figuur 4.

De klasse-indeling van vaarwegen is net zo genummerd als de laadvermogensklassen (dus laadvermogensklasse 4 komt overeen met vaarwegklasse IV), zij het dat de grootste klasse vaarweg klasse VI is. Voor de klassen 6 en 7 uit de verdeling van de laadvermogens heeft men dus geen onderscheid meer gemaakt in de vaarwegklassen.

Om nu tot een keuze te kunnen komen voor de beste oplossing voor de uitbreiding van het sluiscomplex te Panheel is deze voorstudie gemaakt. In het volgende hoofdstuk zal nader ingegaan worden op het ontstaan van het kanalenstelsel in Zuid-Oost Nederland in het algemeen en van de Zuid-Willemsvaart en het kanaal Wessem-Nederweert in het bijzonder. In het derde hoofdstuk is getracht een prognose op te stellen voor de te verwachten verkeersontwikkeling in de nabije toekomst. Met behulp hiervan en met behulp van de in hoofdstuk vier te bepalen relevante alternatieven wordt in hoofdstuk 5 een capaciteitsberekening uitgevoerd. Hiermee worden de alternatieven gedimensioneerd.

In het laatste hoofdstuk tenslotte zal ingegaan worden op de totstandkoming van de keuze van de oplossing.

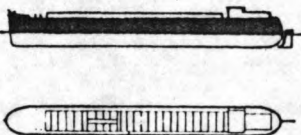
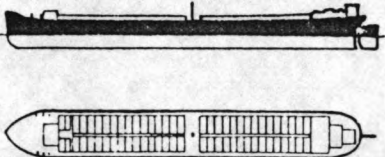
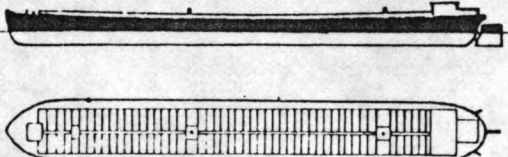
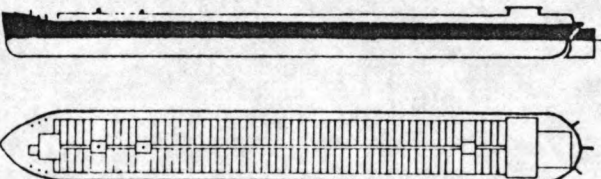
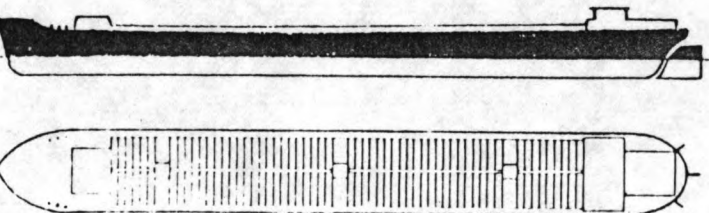
Men kan zich natuurlijk afvragen waarom we in dit geval zijn overgegaan tot het bekijken van alternatieven anders dan een normale schutsluis. Immers, in zijn algemeenheid kan gezegd worden dat deze oplossing de goedkoopste en meest voor de hand liggende is. De situatie bij Panheel is echter voor Nederlandse begrippen nogal uitzonderlijk, het verval is namelijk meer dan acht meter. In het



figuur 3

verdeling beroepsvaart in laadvermogenklassen

MAATSCHEPEN EN HUN KARAKTERISTIEKE AFMETINGEN

		Afmetingen in meters			
		Lengte	Breedte	Diepgang (geladen)	Hoogte (ledig)
<p>Splits (300 ton)</p> 		38.50	5.00	2.20	3.55
<p>Kempenaar (600 ton)</p> 		50.00	6.60	2.50	4.20
<p>Dortmund-Eemskanaalschip (1000 ton)</p> 		67.00	8.20	2.50	3.95
<p>Rijn-Hernekanaalschip (1350 ton)</p> 		80.00	9.50	2.50	4.40
<p>Groot Rijnschip (2000 ton en meer)</p> 		95.00	11.50	2.70	6.70

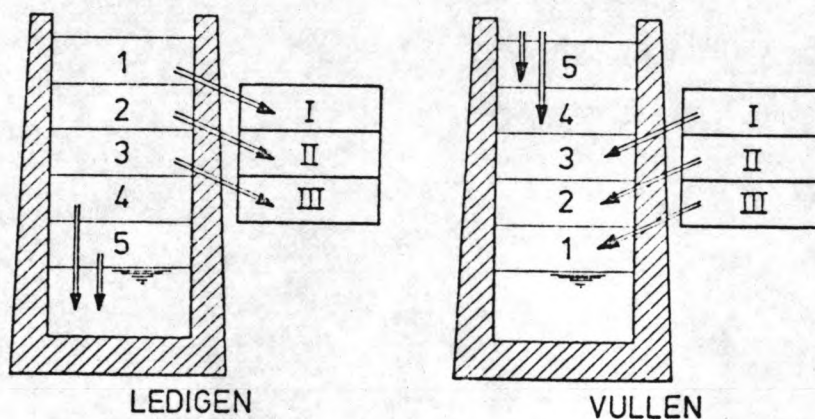
figuur 4

buitenland, waar grote hoogteverschillen in waterwegen regelmatig voorkomen, zijn al vele malen constructies toegepast die niets met een schutsluis gemeen hebben. Het hellend vlak dat bij Ronquières, in België, gebouwd is is daarvan wel de bekendste. Daar wordt een hoogteverschil van 68 meter overwonnen.

Er speelt hier nog een probleem, namelijk dat van de waterhuishouding. Uit het kanaal Wessem-Nederweert wordt water onttrokken voor bevoeiingsdoeleinden en bovendien is het water dat via de Zuid-Willemsvaart uit de Maas wordt aangevoerd in droge perioden niet voldoende om de optredende schutverliezen te compenseren. Daarom staat bij het oude complex een oud gemaal dat bij uitbreiding van het complex vervangen moet worden. Uit bovenstaande blijkt dus dat het besparen van schutverliezen in dit geval een belangrijke zaak is. Getracht is dan ook een aantal alternatieven op te stellen die een oplossing bieden voor dit probleem.

Dat men dit al eerder heeft gedaan blijkt uit de constructie van de huidige sluis.

Men heeft bij de bouw spaarkommen toegepast om zo een besparing te verkrijgen op de schutverliezen. De sluis Panheel, de enige spaarsluis in Nederland, is uitgevoerd met drie spaarkommen; de werking ervan is schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Het principe van de spaarbekkensluis
figuur 5

Bij het schutten van het bovenpand naar het benedenpand wordt de in de schutkolk aanwezige waterschijf 1 geborgen in spaarkom I, waterschijf 2 in spaarkom II en waterschijf 3 in spaarkom III. De waterschijven 4 en 5 vloeien af naar het benedenpand. Omgekeerd wordt bij schutten van beneden naar boven eerst het water uit spaarkom III ingelaten (waterschijf 1), vervolgens het water uit spaarkom II (waterschijf 2) gevolgd door spaarkom I (waterschijf 3), waarna de waterschijven 4 en 5 tenslotte aan het bovenpand onttrokken worden. Zo wordt het schutwaterverlies met 60% verminderd. Eveneens als maatregel om het waterverlies uit het kanalenstelsel te beperken heeft men in de Zuid-Willemsvaart een groot aantal sluizen met klein verval gebouwd. Deze zullen te zijner tijd ook vervangen worden als het kanaal verbreed wordt. Wij zullen ons echter beperken tot Panheel.

2. Historisch overzicht

Om de aanleg van het kanaal Wessem-Nederweert in het juiste licht te kunnen zien is het van belang dat we de historie van de vaarwegen in het betreffende gebied, Zuid-Oost Nederland, wat nader bezien.

De eerste vaarweg waarover in dit verband gesproken dient te worden is natuurlijk de Maas.

Deze rivier de Maas, die, zoals bekend, een regenrivier is, heeft als vaarweg van oudsher een niet zo beste naam gehad. Door dit karakter van regenrivier komt het voor dat de Maas enerzijds topafvoeren kent van ca. 3000 m^3 per seconde, waarbij voor scheepvaart gevaarlijk hoge stroomsnelheden voorkomen en anderzijds een droogweerafvoer van minimaal ongeveer 20 m^3 per seconde, waarbij de diepgang niet meer bedraagt dan een luttele 60 cm. Tezamen met de vele bochten en de aanwezigheid van verraderlijke banken maakt dit de Maas nu niet bepaald tot een goed bevaarbare rivier. Aangezien de stand van de techniek destijds, we praten nu over het einde van de Middeleeuwen, niet zodanig was dat deze bevaarbaarheid wezenlijk verbeterd kon worden, heeft men al vroeg naar andere middelen gezocht om goederen van de belangrijke handelsstad 's-Hertogenbosch naar het zuiden te vervoeren. Er zijn dan ook, sinds koning Philips in 1573 een octrooi verleende tot het aanleggen van een vaart naar de Peel, een plan dat overigens niet tot uitvoering is gekomen, een vrij groot aantal plannen ontwikkeld voor het graven van kanalen naar het zuiden. Van deze plannen is tot het begin van de 19^e eeuw nooit veel terecht gekomen. In de 18^e eeuw werd wel de kasseien straatweg aangelegd van 's-Hertogenbosch naar Luik, waardoor het transport over land kon geschieden.

Een plan van Napoleon is tenslotte tot een begin van uitvoering gekomen. Dit plan hield in dat een kanaal gegraven zou worden van de Schelde bij Antwerpen via Venlo aan de Maas naar de Rijn bij Düsseldorf. Dit om

de koophandel in Holland te ondermijnen ten gunste van Antwerpen dat in Franse handen was. Van dit Grand Canal du Nord werd het traject van Lozen in België, dat het hoogste punt van het kanaal vormde, naar Beringen, tussen Weert en Venlo, ook inderdaad gegraven. Hoewel de grond voor het traject Beringen - Venlo wel aangekocht was, heeft men dit traject nooit meer gegraven, omdat de Hollandse havens inmiddels ook in Franse handen waren overgegaan, waardoor het voor de Fransen niet meer aantrekkelijk was om Antwerpen te bevoordelen boven de Hollandse havens.

Als voedingskanaal voor het Grand Canal du Nord werd een kanaal gegraven vanaf het nabij Maastricht aan de Maas gelegen Smeermaas, dat hoger ligt dan Lozen, naar Lozen. Na de val van Napoleon zijn er verschillende studies gemaakt en plannen ontworpen, waarin zoveel mogelijk werd geprobeerd de al uitgevoerde werken weer te benutten in de nieuwe plannen. Uit deze studies is uiteindelijk een plan ten uitvoer gebracht dat gemaakt is door de toenmalige (we zijn inmiddels in 1817 beland) inspecteur-generaal van de waterstaat, Goudriaan. Dit plan hield in dat een kanaal gegraven zou worden van Smeermaas tot binnen de vesting Maastricht, waar een verbinding met de Maas zou worden gemaakt. Van Smeermaas naar Lozen werd gebruik gemaakt van het voedingskanaal, dat hiertoe verbreed en uitgediept werd zodat het dezelfde afmetingen als het Canal du Nord kreeg. Vanaf Lozen werd het Canal du Nord gevolgd tot Nederweert vanwaar een nieuw kanaal gegraven zou worden naar 's-Hertogenbosch, langs Helmond en Veghel. Daarbij zou gebruik worden gemaakt van het stroomgebied van de A. Het kanaal zou via de buitengracht van 's-Hertogenbosch aansluiten op de Dieze. Dit laatste is door een request van de stad 's-Hertogenbosch later veranderd, waardoor het kanaal door de stad heen is aangelegd en zo aangesloten op de Dieze.

Ook de steden Eindhoven en Roermond hadden kritiek op het in het plan-Goudriaan vastgestelde tracé, in verband

met de daardoor in beide steden verwachte terugloop van handelsactiviteiten. De ingediende requesten zijn echter van de hand gewezen en het plan is ten uitvoer gebracht. De officiële opening van deze Zuid-Willemsvaart vond plaats op 24 augustus 1826.

Het resterende gedeelte van het Grand Canal du Nord, het traject Nederweert - Beringen, heet nu Noordervaart. Deze sluit aan op de Zuid-Willemsvaart en loopt dood bij Beringen.

De Zuid-Willemsvaart heeft gedurende de eerste tientallen jaren van zijn bestaan niet geheel aan de verwachtingen voldaan. Als oorzaken kunnen genoemd worden: het ontbreken van een kanaalverbinding Luik-Maastricht (die pas in 1850 tot stand kwam) en jarenlange stremming ten gevolge van de opstand van de Belgen van 1830 tot 1839. Daarna is het scheepvaartverkeer in intensiteit echter toegenomen.

De Zuid-Willemsvaart had behalve de functie van scheepvaartweg ook nog de functie water te vervoeren, enerzijds voor de voeding van het kanaal zelf, dit om de kwel en het verlies naar andere kanalen te compenseren, anderzijds voor bevoeiingsdoeleinden. Over deze kwestie zijn verschillende traktaten met België tot stand gebracht. In het traktaat van 1863 tenslotte werden de hoeveelheden water vastgesteld die Nederland uit de Maas voor de voeding van de Zuid-Willemsvaart beschikbaar moet stellen. Dit is gedaan door voor te schrijven hoe de klepstanden in het inlaatwerk moeten zijn, waarbij dan de benodigde debieten geleverd worden. Onlangs is echter gebleken dat deze klepstanden een groter debiet tot gevolg hebben dan feitelijk was afgesproken. Voor de Belgen een reden om vast te houden aan de klepstanden en niet aan de te leveren debieten.

Tenslotte werd door middel van een traktaat bepaald dat de Maas door normalisatie beter bevaarbaar zou worden gemaakt. Daartoe werd in 1915 een wetsontwerp aangenomen tot kanalisatie van het op Nederlands grond-

gebied gelegen gedeelte van de Maas.

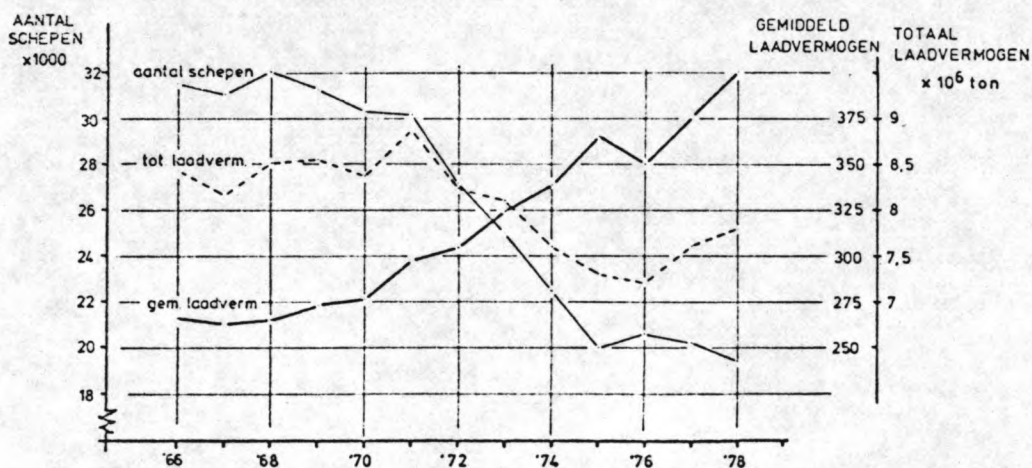
In samenhang hiermee werd in ditzelfde wetsontwerp besloten tot de aanleg van het kanaal Wessem-Nederweert, waardoor in een betere verbinding met Brabant werd voorzien, terwijl hierdoor tevens een scheepvaartverbinding van Zuid-Limburg met het westen des lands ontstond die geheel over Nederlands grondgebied liep. De werken op grond van deze wet waren in 1929 geheel voltooid. Deze kanalisatie van de Maas en de aanleg van het Julianakanaal en het Maas-Waalkanaal hebben verder de bereikbaarheid van de grote rivieren en Oost Nederland voor schepen vanuit Maastricht vergroot.

3. Prognose voor de te verwachten scheepvaartbewegingen

Voor het beschrijven van het scheepvaartgebeuren bij de sluis zijn meerdere parameters van belang. Om de gedachten te bepalen kunnen de volgende gegevens onderscheiden worden:

- het aantal schepen,
- het totale laadvermogen,
- de samenhang tussen deze twee getallen wordt gegeven door het gemiddeld laadvermogen, \bar{T} , in tonnen,
- het verschil in verkeersaanbod tussen beide richtingen,
- geladen of ongeladen schepen, hun onderlinge verhouding,
- het variëren van het aantal schepen in de tijd.

Voor het opstellen van een prognose gaan we uit van het totaal gepasseerde laadvermogen, zie figuur 1. Deze figuur geeft tot circa 1960 een sterke groei te zien, welke in een veel lager tempo doorgaat. Na 1971 blijkt dat het totaal gepasseerde laadvermogen is afgenomen. De verklaring voor deze ontwikkeling is te vinden in de groei van het gemiddeld laadvermogen van de schepen van de Nederlandse binnenvloot.



figuur 6 Ontwikkeling van \bar{T} te Panheel

Uit het oogpunt van rentabiliteit worden kleinere schepen gesloopt en een kleiner aantal grotere schepen nieuw gebouwd. Door de sluis bij Panheel kunnen echter slechts schepen passeren tot ongeveer 600 ton laad-

vermogen; de nieuwere schepen zijn veelal groter en kunnen dus niet passeren. De (kleine) schepen die wel kunnen passeren verkeren in een minder gunstige concurrentiepositie ten opzichte van de andere vervoermiddelen, zodat het aandeel van het scheepvaartvervoer kan dalen, ten gunste van het wegvervoer en het spoorwegvervoer.

Als gekeken wordt naar welke goederen de sluis passeren blijkt dat het transport van zand en grind in noordelijke richting, dus van de Maas af, daarin veruit de belangrijkste plaats inneemt, zoals onderstaande tabel illustreert.

tabel 1 Vervoerde goederen door sluis Panheel.
x 1000 ton

jaar	totaal	richting Zuid	richting Noord	waarvan zand + grind	% van totaal
1970	3506,2	189,2	3317,0	2678,9	76,4
1971	3630,0	155,5	3474,5	2823,0	77,8
1972	3429,6	140,5	3289,1	2717,2	79,2
1973	3300,5	131,8	3168,7	2639,5	80,0
1974	3029,3	162,1	2867,2	2377,0	78,5
1975	2907,4	218,2	2689,2	2210,3	76,0
1976	3004,1	204,1	2800,0	2353,7	78,3
1977	2590,9	108,5	2482,4	2088,1	80,6

Bij het opstellen van een verkeersprognose is natuurlijk van belang hoe dit zeer belangrijke vervoersaandeel zich zal ontwikkelen.

Het gebied van de Maas is in Nederland de enige winplaats van grind, tevens wordt er zand gewonnen. Uitputting van dit gebied is wel mogelijk, maar aangezien deze grondstoffen van zeer groot belang zijn zal er ijverig gezocht worden naar nieuwe winplaatsen. De winning van deze materialen is tot ongeveer 1990 wel verzekerd. Aangezien er in de komende jaren geen grote veranderingen in het zand- en grindtransport te verwachten zijn

is er geen reden om dit aandeel te scheiden van de rest van de goederenstroom. De prognose zal dan ook worden gemaakt voor de goederenstroom als geheel. Een richtlijn voor de vergroting van de capaciteit van de sluis Panheel volgt uit het regeringsbeleid zoals dat is vastgelegd in de in 1977 verschenen ontwerp-Vaarwegnota. Hierin wordt aangegeven dat de vaarweg via de Zuid-Willemsvaart, die nu toegankelijk is voor beperkte klasse II vaart, geschikt gemaakt dient te worden voor klasse IV.

Daarbij moet nog gekozen worden tussen een verruiming van de gehele Zuid-Willemsvaart en een verruiming van slechts een gedeelte daarvan samen met een verruiming van het Wilhelminakanaal. In geval van verruiming van de gehele Zuid-Willemsvaart moet nog worden gekozen tussen een verbetering en een omlegging van de vaarweg bij 's-Hertogenbosch.

De werken zullen bestaan uit een verruiming van het kanaalprofiel tot klasse IV vaarweg, het verlagen van het aantal sluizen en de vervanging van een deel van de aanwezige beweegbare bruggen door vaste, met een doorvaarthoogte van tenminste 5,75 meter.

De eerste werken, verlegging van de Zuid-Willemsvaart bij Helmond en verruiming van het meest westelijke deel van het Wilhelminakanaal, zijn al begonnen in 1965, respectievelijk in 1967. De overige werken wachten op een beslissing over de uit te voeren variant. Onafhankelijk van de te kiezen variant zal de sluis te Panheel in alle gevallen verruimd moeten worden, de uitwerking hiervan is dus niet afhankelijk van de te nemen beslissing.

Volgens de ontwerp-Vaarwegnota wordt het hele werk geacht gereedte zijn in 1985, het ziet er echter niet naar uit dat dit gehaald wordt.

Voor de prognose zijn verschillende ontwikkelingen te onderscheiden.

1. Als de sluis Panheel voldoende capaciteit heeft,

ook voor 1350-tons schepen, zal er weer groei mogelijk zijn, zoals ook opgetreden tussen 1960 en 1971.

Doordat de langs de vaarwegen gevestigde bedrijven bereikbaar worden voor grotere schepen zal de binnenvaart zijn volledige vervoersaandeel weer kunnen verzorgen. Dit geeft een doortrekken van de lijn van 1960 - 1971 met een klein groeipercentage.

In enige jaren na het gereedkomen van de nieuwe sluis zal een flinke groei optreden naar het oude peil.

Ontwikkelingen van de laatste jaren wijzen erop dat er grenzen zijn aan de te verwachten groei. Er is geen reden om aan te nemen dat deze ontwikkeling niet zal gelden voor het goederentransport, zodat we ook hiermee rekening houden door na ongeveer 1990 de groei op nul te stellen.

2. Na voltooiing van alle in de ontwerp-Vaarwegennota genoemde verbeteringen aan de Zuid-Willemsvaart en aansluitende kanalen (het kanaal Wessem-Nederweert en het Wilhelminakanaal) zal deze vaarweg een gunstig alternatief vormen voor de Maasroute. Het aantal te passeren sluisen verschilt dan niet zoveel en de afstand via de Zuid-Willemsvaart is korter. Hierdoor wordt een toename van de vervoersintensiteit verwacht van 5 à 6 miljoen ton per jaar, onafhankelijk van de nog te maken keuze tussen verruiming van de gehele Zuid-Willemsvaart of verruiming van het Wilhelminakanaal en een gedeelte van de Zuid-Willemsvaart.

Deze forse toename van de vervoersintensiteit zal pas volledig plaatsvinden na de voltooiing van alle voorgenomen werken. Volgens ons zal dat wel wat later zijn dan 1985.

3. Door de verbeterde bereikbaarheid is het mogelijk dat in dit gebied bedrijven groeien, of zich vestigen. Hierdoor ontstaat een groei van de goederenstroom.

Verwacht wordt dat deze invloed zeer bescheiden zal zijn, in onze prognose is deze verwaarloosd.

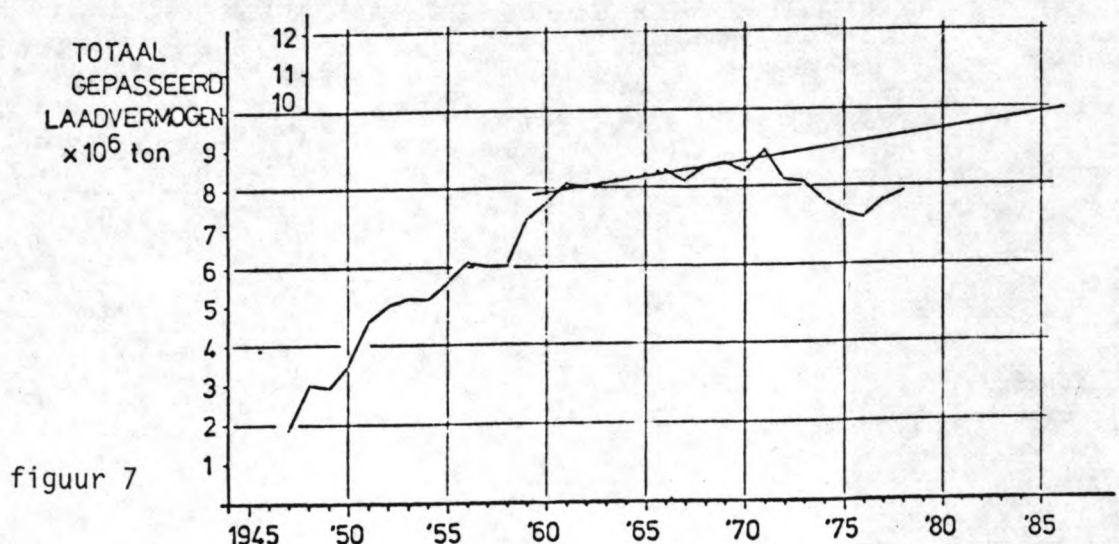
4. Mogelijk is er een verschuiving in modal-split (de verdeling van het totaal aan vervoerde goederen over de verschillende middelen van vervoer) en wel ten gunste van het vervoer te water.

Een wijziging in de modal-split zal hoofdzakelijk voortkomen uit het herstel van het oude evenwicht wat als eerste invloed genoemd is. Een mogelijke extra verschuiving wordt verwaarloosd.

5. De recreatievaart is nog niet beschouwd. De groei hiervan is de laatste jaren zeer sterk geweest, gemiddeld over het hele land 8% per jaar en op diverse plaatsen heeft dat tot problemen geleid. Bij Panheel is slechts een vrij klein aantal recreatievaartuigen gepasseerd, bekend zijnde getallen komen niet boven 1000 schepen per seizoen uit. Vanwege de geringe kanaalbreedte waardoor sterke zuiging ontstaat en het niet beschikbaar zijn van ruimte voor uitwijkmanoeuvres is een uitbreiding van de recreatievaart ongewenst.

Deze zal dus geen factor van betekenis gaan vormen.

Om de prognose getalmatig weer te kunnen geven wordt figuur 1 gebruikt. Deze wordt hieronder nog eens gegeven.



De invloeden die op de prognose werken worden als volgt verwerkt.

1. Doortrekken van de groei uit de zestiger jaren.

Een berekening van Rijkswaterstaat gaat uit van $8,2 \times 10^6$ ton per jaar in 1972 en komt dan uit op $8,8 \times 10^6$ ton per jaar in 1985. De lijn die de groei volgt komt echter wat hoger uit, wij komen op $9,8 \times 10^6$ ton per jaar.

2. De verwachte toename van de doorgaande vaart bedraagt $5 \text{ à } 6 \times 10^6$ ton/jaar. De bovenwaarde wordt aangehouden.

Totaal geeft dit een te verwachten intensiteit van $15,8 \times 10^6$ ton per jaar voor 1985.

In verband met de al genoemde vertragingen zal deze intensiteit wel later bereikt worden. Omdat na 1990 geen verdere groei verwacht wordt kan de verwachte intensiteit gezien worden als een eindwaarde, die voor zover de ontwikkelingen beschouwd zijn niet overschreden zal worden.

Ook voor enkele andere parameters die het scheepvaartverkeer beschrijven kan een schatting gemaakt worden. Het gemiddeld laadvermogen, \bar{T} .

Figuur 6 op blz 12 laat zien dat \bar{T} stijgt in de loop der jaren. Dit is een algemene ontwikkeling, voor de toekomstverwachting wordt deze doorgetrokken. Als met een lineaal gewerkt wordt volgt als waarde voor \bar{T} in 1985 ongeveer 530 ton. Er zal extra groei optreden door het toegankelijk worden voor grotere schepen.

Wij hebben \bar{T} gesteld op 600 ton.

Aantal geladen schepen ten opzichte van totaal aantal schepen, λ .

λ_{noord} heeft de afgelopen jaren gemiddeld 0,97 bedragen. Deze waarde zal nauwelijks verder kunnen groeien. We nemen dan ook aan $\lambda_{\text{noord}} = 0,97$.

λ_{zuid} was gemiddeld 0,05. Deze lage waarde wordt veroor-

zaakt door het leeg retour varen van schepen.

De doorgaande vaart die verwacht wordt kent veel minder lege vaart, daarom zal λ_{zuid} stijgen. We nemen aan $\lambda_{\text{zuid}} = 0,20$.

De verdeling van het verkeersaanbod over de beide richtingen is ongeveer gelijk. Er is geen reden om aan te nemen dat dit belangrijk zal veranderen. We houden een gelijke verdeling aan.

Samengevat:

1985 à 1990: $15,8 \times 10^6$ ton/jaar

$\bar{T} = 600$ ton

$\lambda_{\text{noord}} = 0,97$

$\lambda_{\text{zuid}} = 0,20$

verdeling aanbod noord - zuid: gelijk

4. Het opstellen van mogelijke en relevante alternatieven

Voor het ontwikkelen van alternatieven is een ontwerpboom gemaakt. Hierin worden voor de primaire functionele behoefte: "het overwinnen van een verval van 8,1 meter door een schip" alle in principe mogelijke oplossingen gezocht. De ontwerpboom is achter in dit verslag te vinden als bijlage 1.

Van een aantal oplossingen en groepen van oplossingen wordt al tijdens het opzetten van de boom afgezien omdat deze geen reële alternatieven opleveren. Uiteindelijk volgen er veertien alternatieven die in principe mogelijk zijn. Daarvan vallen er nog een aantal af.

De alternatieven waarbij een schip uit het water komt vallen af omdat dit een zeer ingewikkelde constructie vraagt om het schip te ondersteunen. Ook de tijd, nodig om het kunstwerk te passeren, zal veel te lang zijn. Zo vallen af: scheepshelling, overtoom, scheepsdwars-helling en dwarsovertoom.

De combinatie-oplossingen zijn altijd ingewikkelder dan enkelvoudige constructies, dus deze vallen af: comb. langshelling - pente d'eau en comb. dwarsshelling - pente d'eau.

De oplossing dwars pente d'eau is volgens de principes van het normale pente d'eau door de grote afmeting niet realiseerbaar. Wel is deze misschien mogelijk volgens andere constructieprincipes, die echter nog uitgedacht zullen moeten worden.

De meertrapssluis kan vervallen omdat dit in wezen dezelfde oplossing is als de gewone schutsluis. Het overwinnen van het hier gegeven verval is constructief goed mogelijk in één trap.

De volgende alternatieven blijven dan als relevant

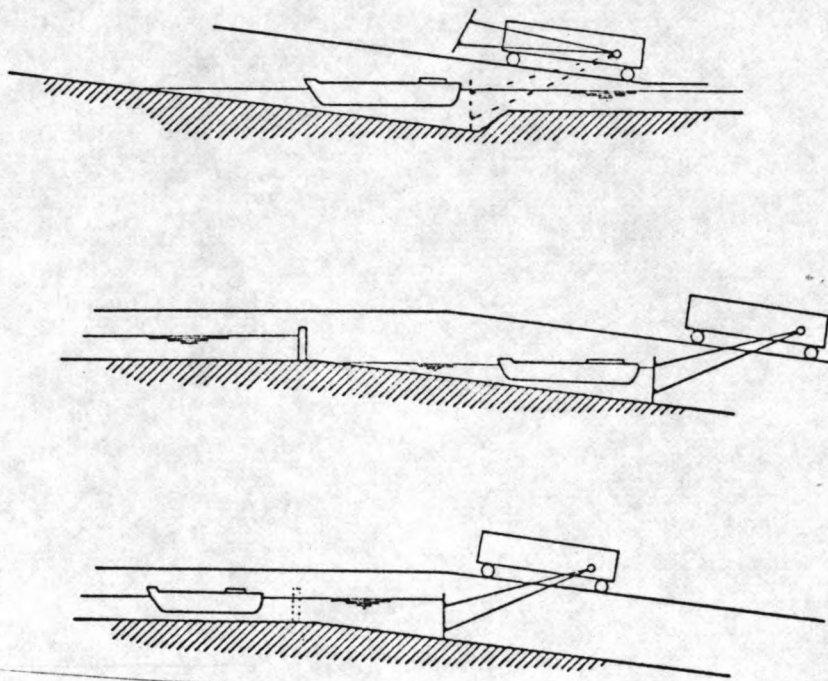
over: schutsluis

sparsluis

lift
langshelling
pente d'eau
dwarshelling.

Het pente d'eau verdient misschien nog enige toelichting. Deze constructie bestaat uit een hellende U-vormige goot die aan de onderkant direct in verbinding staat met het kanaal. Aan de bovenzijde vormt een beweegbare deur de afsluiting.

Een schip wordt naar beneden of naar boven bewogen drijvend in een driehoekige moot water. Deze watermoot wordt aan de kant van het lage pand gesteund door een schuif die in de goot kan bewegen en een waterdichte afseiding vormt.



figuur 8 Principe van het pente d'eau

5. Bepaling schutcapaciteit van de alternatieven

5.1. Inleiding

Uit de ontwerpboom zijn dus een zestal alternatieven te voorschijn gekomen. Voor deze alternatieven is nu een capaciteitsberekening uitgevoerd.

De algemene gehanteerde werkwijze is als volgt:

Voor het betreffende kunstwerk wordt een bepaalde afmeting gekozen, uiteraard in overeenstemming met de daaraan gestelde eisen (zie hiervoor de berekening zelf onder algemene gegevens); daarna wordt de capaciteit van het betreffende kunstwerk bepaald om tenslotte te bekijken of deze voldoet aan de uit de prognose volgende capaciteit. Hierbij is gestreefd naar een zo optimaal mogelijke afmeting van het betreffende kunstwerk.

5.2. Capaciteitsberekening

5.2.1. Te hanteren notatie.

De volgende symbolen worden toegepast:

A_1	lusafstand	(m)
B	breedte van de sluiskolk; bak	(m)
C_s	theoretische schutcapaciteit	(schepen/uur)
C_w	werkelijke schutcapaciteit	(schepen/week)
D	waterdiepte boven de drempel of vloer in het "sluishoofd"	(m)
F	oppervlak natte dwarsdoorsnede boven de drempel of de vloer in het "sluishoofd"	(m ²)
I_t	toelaatbare jaarintensiteit	(ton lvm./jaar)
I_v	weekintensiteit	(schepen/week)
L	nuttige kolk lengte	(m)
T	laadvermogen van een schip	(ton)
T_b	bedieningstijd van de "sluis"	(min)
T_c	cyclustijd	(min)
T_d	duur van een "schutting"	(min)

l	scheepslengte	(m)
n_{\max}	maximaal aantal schepen dat de kolk of bak kan bevatten	
t_i	invaarvolgtijd	(min)
t_l	lustijd	(min)
t_u	uitvaarvolgtijd	(min)
λ	verhouding van het aantal geladen schepen en het totaal aantal schepen	

5.2.2. Recept van de capaciteitsberekening.

Doel van de berekening: bepalen I_t

Uitgangspunt : binnenvaart "sluis" met moderne vormgeving

Berekeningsmethode : A t/m J.

A) Gegevens met betrekking tot de sluis.

1. keuze van kolk lengte, breedte en diepte, waarbij het maatgevende schip de maten $80 \times 9,5 \times 2,6 \text{ m}^3$ heeft.
2. berekening natte dwarsdoorsnede F
3. keuze van de afstand van de sluisdeur tot het begin van de wachtplaats ($\bar{A}_1 - \bar{l}$)

B) Gegevens met betrekking tot de vloot.

1. met behulp van de prognose te bepalen \bar{T}
2. bepalen \bar{l} met figuur 9
3. vaststellen beladingsgraad λ per vaarrichting

Ook kan nog meegenomen worden de beladingsgraad van geladen schepen. Wij stellen deze op 100%, dat wil zeggen alle geladen schepen zijn ook volledig geladen, en houden er verder niet apart rekening mee.

C) De in- en uitvaartijden van de schepen.

1. bepaling van de invaarvolgtijd \bar{t}_i , per vaarrichting, voor geladen en ongeladen schepen, voor de gekozen waarde van \bar{T} met figuren 10 en 11.

De per vaarrichting toe te passen waarde is:

$$\bar{t}_i = \lambda \times \bar{t}_i(\text{geladen schepen}) + (1 - \lambda) \times \bar{t}_i(\text{ongeladen schepen})$$

2. bepaling uitvaarvolgtijd \bar{t}_u per vaarrichting, analoog aan 1., met figuren 12 en 13

3. bepaling lustijd \bar{t}_1 per vaarrichting met behulp van figuur 14

D) Het maximum aantal schepen in de kolk of bak. voor gegeven \bar{T} kan n_{\max} worden afgelezen uit de figuren 15 en 16

E) De schutduur per vaarrichting.

$$\bar{T}_d = \bar{t}_1 + (n_{\max} - 1) \cdot \bar{t}_i + n_{\max} \cdot \bar{t}_u + T_b$$

Hierin is T_b de bedieningstijd, zie paragraaf 5.2.4.

F) De schutcyclustijd.

$$\bar{T}_c = \bar{T}_d \text{ (opvaart)} + \bar{T}_d \text{ (afvaart)}$$

G) De schutcapaciteit op uurbasis.

$$C_s = \frac{2 n_{\max}}{\bar{T}_c} \times 60 \quad (\text{schepen/uur})$$

H) De schutcapaciteit op weekbasis.

De werkelijke schutcapaciteit is iets lager dan de berekende. Gebruikelijk is een reductie van 10%.

Voor de nachturen een extra reductie van 5%, maar bij Panheel is hier geen sprake van. Dus geldt:

$$C_w = 0,9 \times \text{aantal bedrijfsuren per week} \times C_s$$

I) Bepaling weekintensiteit.

Uit de praktijk blijkt dat de verhouding I_w/C_w gebonden is aan een bepaalde grenswaarde. Onderstaande tabel geeft dit weer.

tabel 2

Bedrijfstijd van de sluis (per week)	grenswaarde I_w/C_w	
	willekeurige intensiteit	gedoseerde intensiteit
168 uur (kontinu bedrijf)	0,65	0,75
ca. 140 uur (kontinu, op zondag gesloten)	0,70	0,80
ca. 100 uur (gesloten perioden 's nachts en in de weekeinden)	0,75	0,85

Voor ons geval geldt: $I_w/C_w = 0,85$, dus $I_w = 0,85 C_w$
Dit bij aanname van gedoseerde intensiteit. De moti-
vatie hiervoor is als volgt: nagenoeg alle verkeer
richting Zuid-Noord komt van de sluis van Maasbracht
en bijna al het verkeer richting Noord-Zuid komt
van de dichtstbijzijnde sluis in de Zuid-Willemsvaart,
dus in beide richtingen sprake van gedoseerde verkeers-
intensiteit.

J) Bepaling toelaatbare jaarintensiteit.

bij benadering geldt: $I_w = 2,15\%$ van I_t

hieruit volgt: $I_t = \frac{1}{0,0215} \times I_w \times \bar{T}$ (ton lvm./jaar)

I_t kan nu vergeleken worden met de prognose.

5.2.3. Algemene gegevens en eisen.

Het kanaal Wessem-Nederweert moet een klasse IV vaarweg
worden, dat wil zeggen dat schepen van 1350 ton nog
moeten kunnen passeren. Deze schepen hebben de afmetingen:
 $80 \times 9,5 \times 2,6 \text{ m}^3$, welke afmetingen tevens maatgevend
zijn voor het te ontwerpen kunstwerk. Zie voor een
overzicht van de indeling in laadvermogensklassen
figuur 3 in de Inleiding.

Voor schutsluizen geldt voor de afmetingen van de kolk
schutlengte L = scheepslengte (l) + 5 à 10%
wijdte B = breedte schip (b) + 10%
drempeldiepte D : gebruikelijk is $D/d = 1,4$ waarin d de
diepgang van het schip is.

Deze normen geven voor een minimale kolk de volgende
afmetingen: L = 85 m; B = 12 m; D = 3,5 m.

Voor de zogenaamde bakoplossingen is uitgegaan van de
minimale maten: L = 85 m; B = 10 m; D = 3,0 m.

In alle gevallen is uitgegaan van één kolk of bak en
een moderne vormgeving.

De bedrijfstijd bedraagt 92 uur per week.

Uit de prognose is te voorschijn gekomen dat voor \bar{T}
aangehouden moet worden 600 ton. Voor de beladingsgraad
per vaarrichting geldt: voor de opvaart $\lambda = 0,95$ en

voor de afvaart $\lambda = 0,20$.

In alle gevallen is gekozen voor de afstand van de sluisdeur tot het begin van de wachtplaats ($\bar{A}_1 - \bar{I}$) = 100 meter.

5.2.4. De bedieningstijd.

Zoals duidelijk zal zijn maakt de bedieningstijd een wezenlijk deel uit van de gehele schutcyclustijd, zie ook paragraaf 5.2.2. onder E) en F). Als zodanig heeft deze een vrij grote invloed op de totale capaciteit van het kunstwerk. Voor de verschillende alternatieven is daarom een berekening gemaakt van de bedieningstijd. De bedieningstijd bestaat uit drie onderdelen, te weten het sluiten van de deuren, het vullen of ledigen van de kolk en het openen van de deuren. Voor vullen of ledigen van de kolk dient in de voorkomende gevallen gelezen te worden het verplaatsen van de bak.

De berekening is opgenomen als bijlage 2, de resultaten zijn als volgt:

dwarshelling	$T_b = 4,6$ minuten
langshelling	$T_b = 9,1$ minuten of $7,0$ minuten
lift	$T_b = 3,7$ minuten
pente d'eau	$T_b = 8,1$ minuten of $7,4$ minuten
spaarsluis	vullen: $T_b = 13,7$ minuten ledigen: $T_b = 14,7$ minuten
schutsluis	vullen: $T_b = 9,4$ minuten ledigen: $T_b = 10,2$ minuten

5.2.5. Werkelijke capaciteitsberekening.

De berekening wordt uitgevoerd aan de hand van het in paragraaf 5.2.2. gegeven recept.

Voor de dwarshelling wordt de berekening helemaal gegeven, als voorbeeld. De overige berekeningen verlopen geheel analoog en daarvan zijn dan ook de verschillende waarden alleen weergegeven. Deze zijn verzameld in tabel 3.

Dwarshelling

A) Hoofdafmetingen: $L = 85$ m; $B = 12$ m; $D = 3,5$ m.

$$F = B \times D = 12 \times 3,5 = 42 \text{ m}^2$$

$$\bar{A}_1 - \bar{I} = 100 \text{ m}$$

$$\text{bedieningstijd } T_b = 4,6 \text{ min}$$

B) $\bar{A}_1 - \bar{I} = 100$: met $\bar{I} = 50$ m (figuur 9)

$$\bar{A}_1 = 100 + \bar{I} = 100 + 50 = 150 \text{ m}$$

$$\bar{T} = 600 \text{ ton}$$

C) \bar{t}_i geladen = 3,16 min (figuur 10)

\bar{t}_i ongeladen = 1,99 min (figuur 11)

\bar{t}_u geladen = 1,82 min (figuur 12)

\bar{t}_u ongeladen = 1,12 min (figuur 13)

stroomopwaarts:

$$\bar{t}_i = 0,95 \times 3,16 + (1 - 0,95) \times 1,99 = 3,10 \text{ min}$$

$$\bar{t}_u = 0,95 \times 1,82 + (1 - 0,95) \times 1,12 = 1,79 \text{ min}$$

stroomafwaarts:

$$\bar{t}_i = 0,20 \times 3,16 + (1 - 0,20) \times 1,99 = 2,22 \text{ min}$$

$$\bar{t}_u = 0,20 \times 1,82 + (1 - 0,20) \times 1,12 = 1,26 \text{ min}$$

$$\bar{t}_1 = \bar{t}_i + \text{correctie (figuur 14)}$$

$$A_1 = 150 \text{ m dus:}$$

$$\text{stroomopwaarts: } \bar{t}_1 = 3,10 + 0,43 = 3,53 \text{ min}$$

$$\text{stroomafwaarts: } \bar{t}_1 = 2,22 + 0,37 = 2,59 \text{ min}$$

D) $\bar{T} = 600$ ton, $L = 85$ m, $B = 12$ m

$$\text{dus: } n_{\max} = 1,9 \text{ (figuur 16)}$$

E) schutduur \bar{T}_d

stroomopwaarts:

$$\begin{aligned} \bar{T}_d &= 3,53 + (1,9 - 1) \times 3,10 + 1,9 \times 1,79 + 4,6 \\ &= 14,3 \text{ min} \end{aligned}$$

stroomafwaarts:

$$\begin{aligned} \bar{T}_d &= 2,59 + (1,9 - 1) \times 2,22 + 1,9 \times 1,26 + 4,6 \\ &= 11,6 \text{ min} \end{aligned}$$

F) dus de schutcyclustijd \bar{T}_c wordt

$$\bar{T}_c = 14,3 + 11,6 = 25,9 \text{ minuten}$$

G) schutcapaciteit op uurbasis

$$C_s = \frac{2 \times n_{\max}}{\bar{T}_c} \times 60 = \frac{2 \times 1,9}{25,9} \times 60$$
$$= 8,8 \text{ schepen per uur}$$

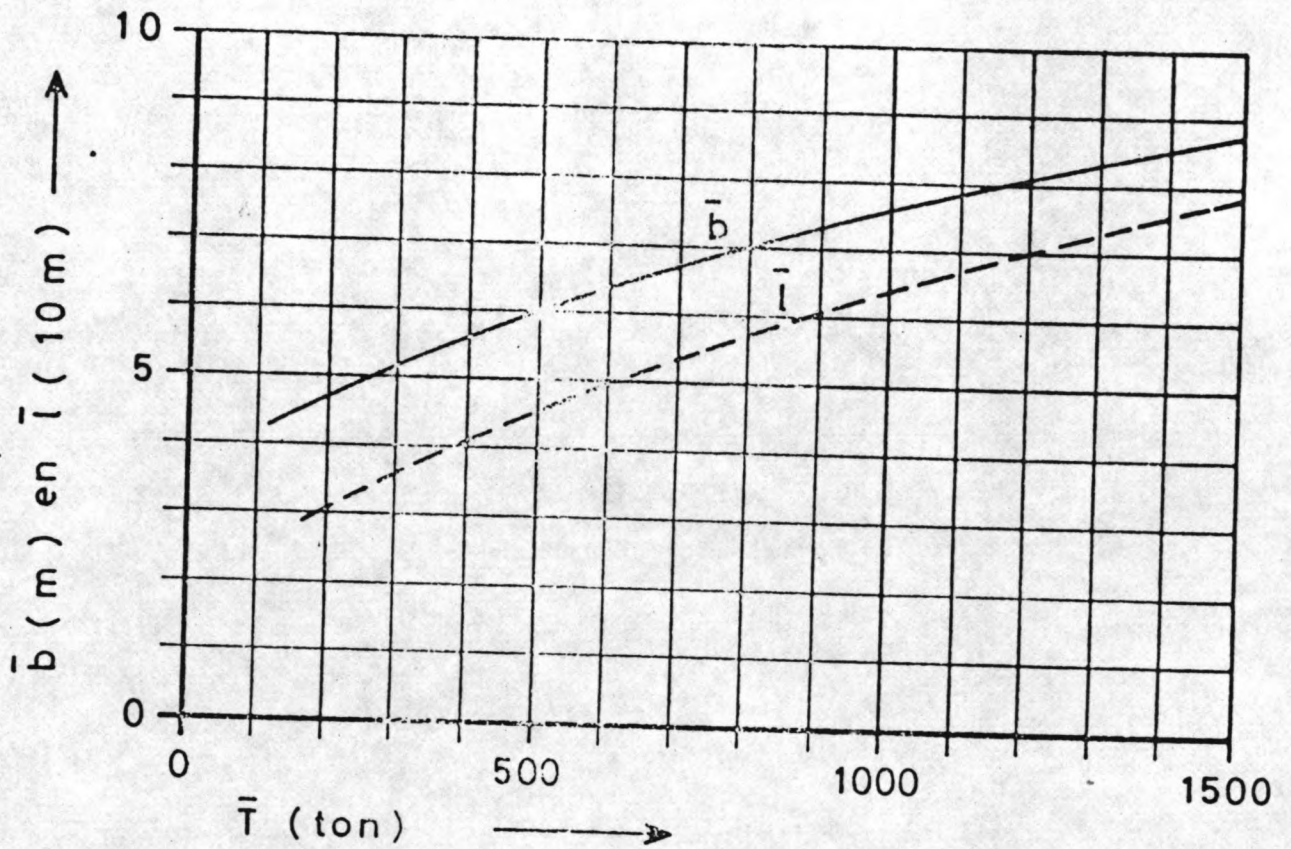
H) werkelijke schutcapaciteit, op weekbasis

$$C_w = 0,9 \times 92 \times C_s = 0,9 \times 92 \times 8,8$$
$$= 728,6 \text{ schepen per week}$$

J) De toelaatbare jaarintensiteit wordt nu:

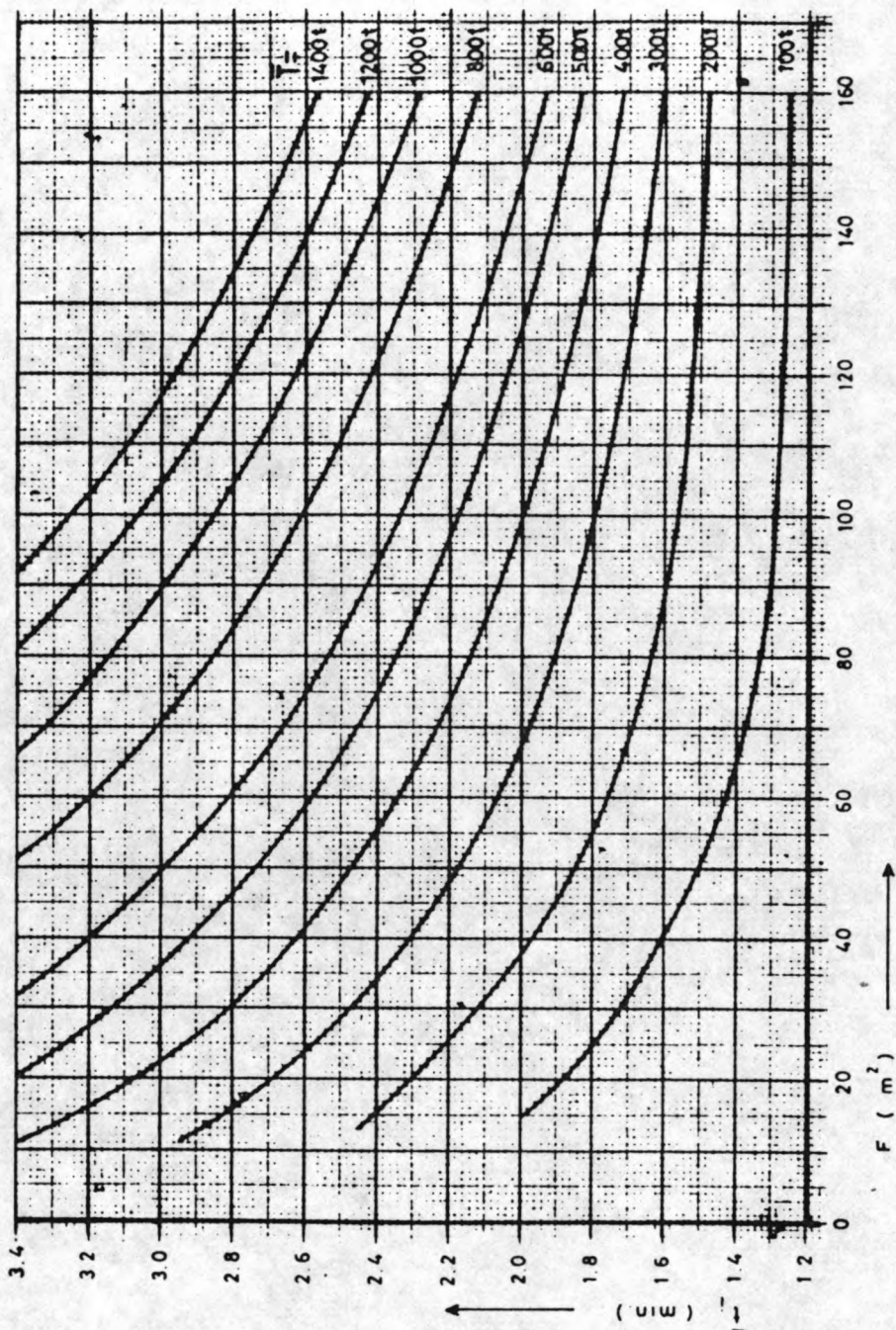
$$I_t = \frac{1}{0,0215} \times I_w \times \bar{T} = \frac{1}{0,0215} \times 0,85 \times C_w \times \bar{T}$$
$$= \frac{1}{0,0215} \times 0,85 \times 728,6 \times 600$$
$$= 17,3 \times 10^6 \text{ ton/jaar.}$$

Op de hierboven beschreven manier zijn alle varianten doorgerekend.



Het verband tussen de gemiddelde waarden van de breedte (\bar{b}) en de lengte (\bar{l}) van de schepen en het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}).

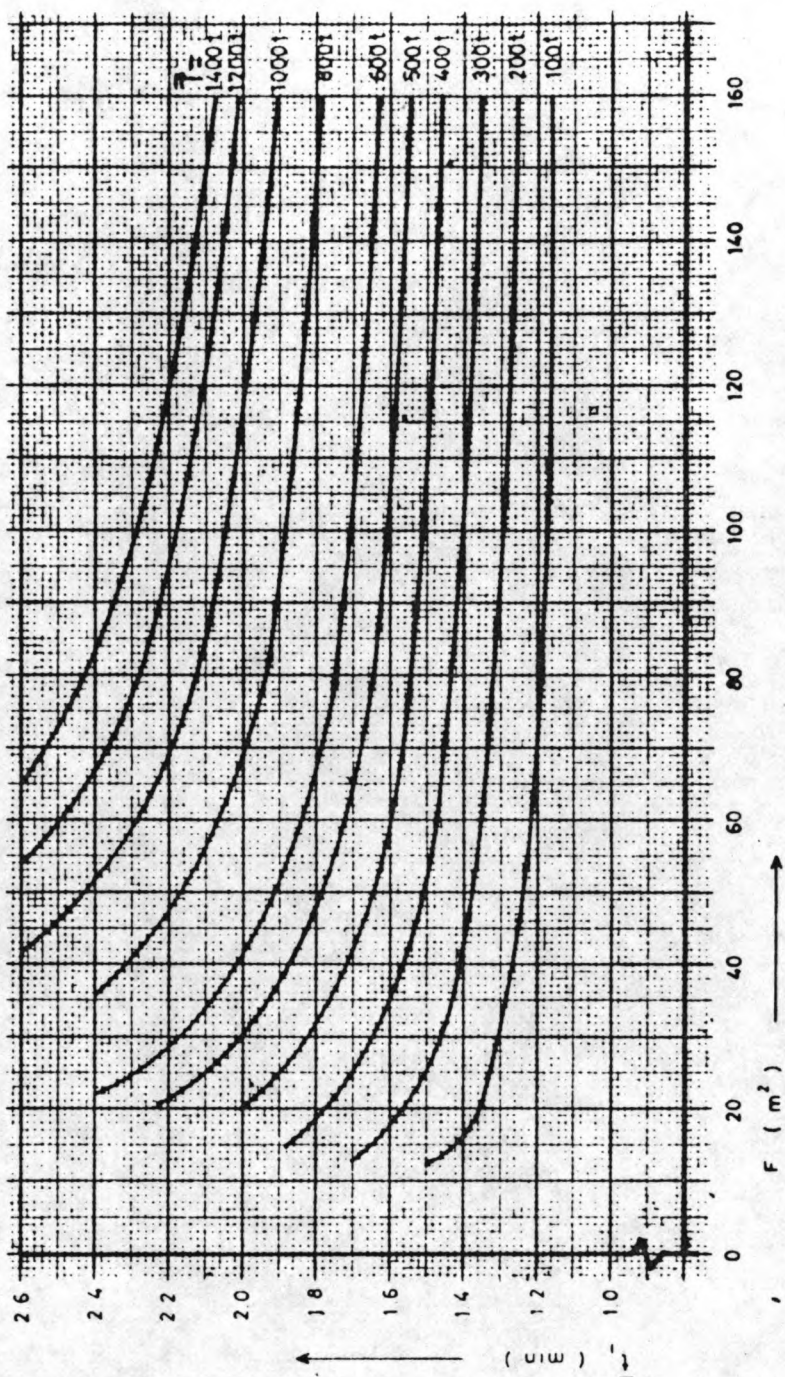
figuur 9



Het verband tussen t_i van geladen schepen met eigen aandrijving en F voor verschillende waarden van \bar{T}

figuur 10

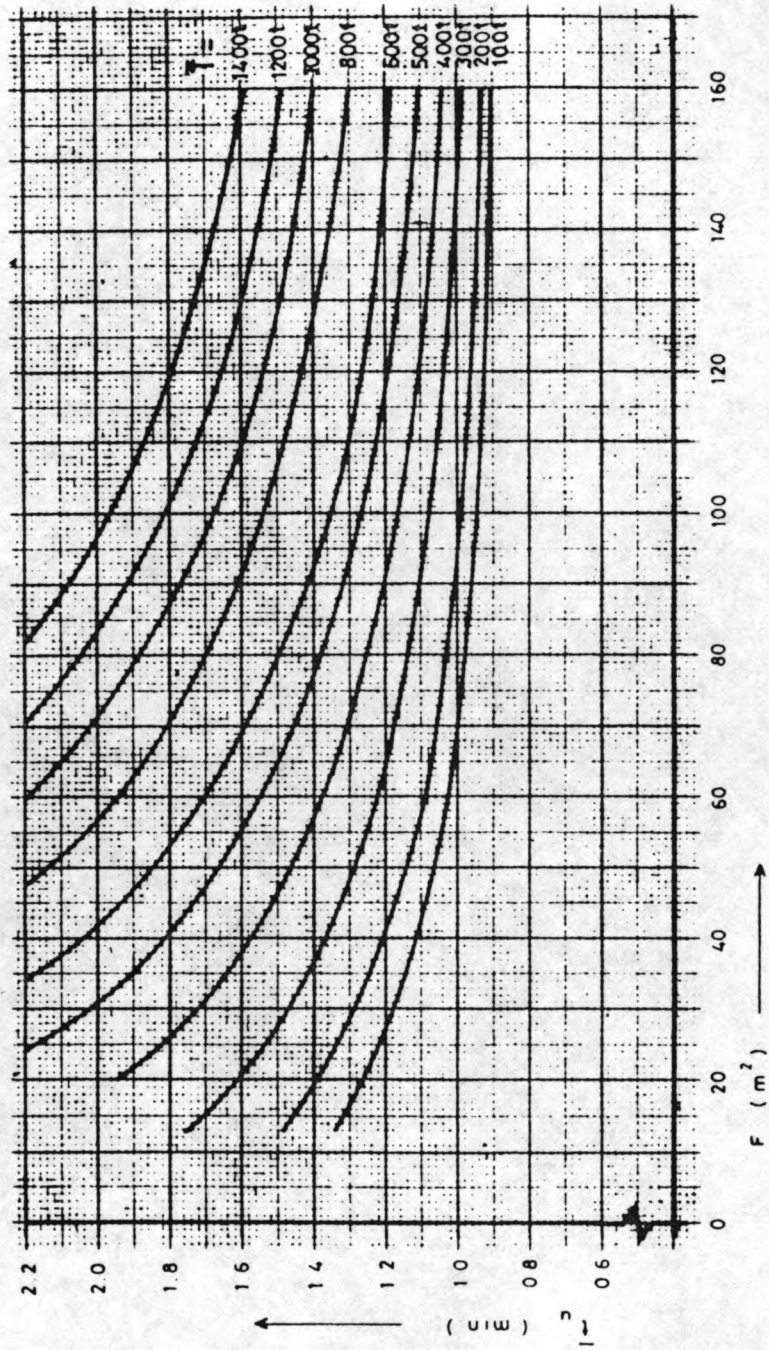
t_i geladen



Het verband tussen t_1 van ongeladen schepen met eigen aandrijving en F voor verschillende waarden van \bar{T}

figuur 11

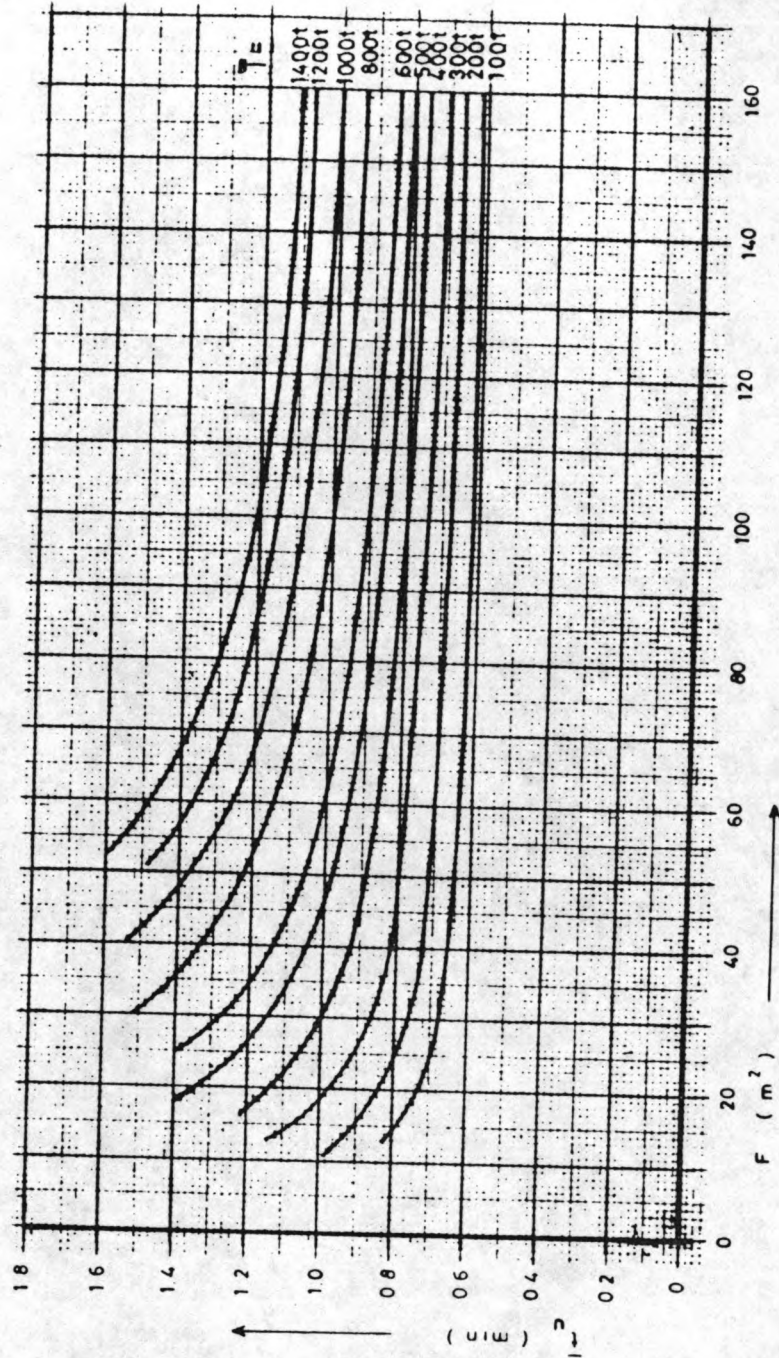
t_1 ongeladen



Het verband tussen \bar{v}_u van geladen schepen met eigen aandrijving en F voor verschillende waarden van \bar{T}

figuur 12

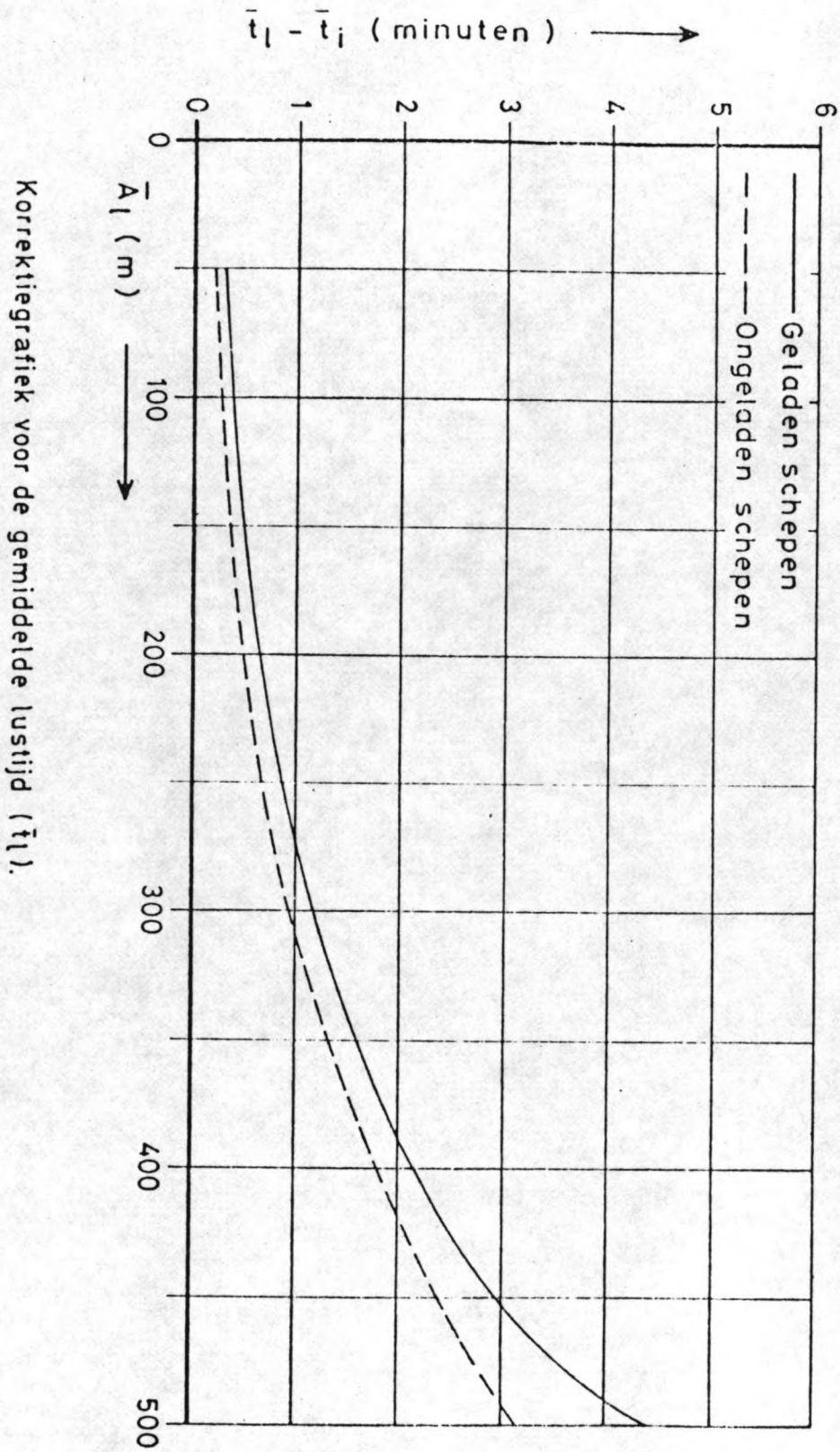
\bar{v}_u geladen



Het verband tussen \bar{t}_u van ongeladen schepen met eigen aandrijving en F voor verschillende waarden van \bar{T}

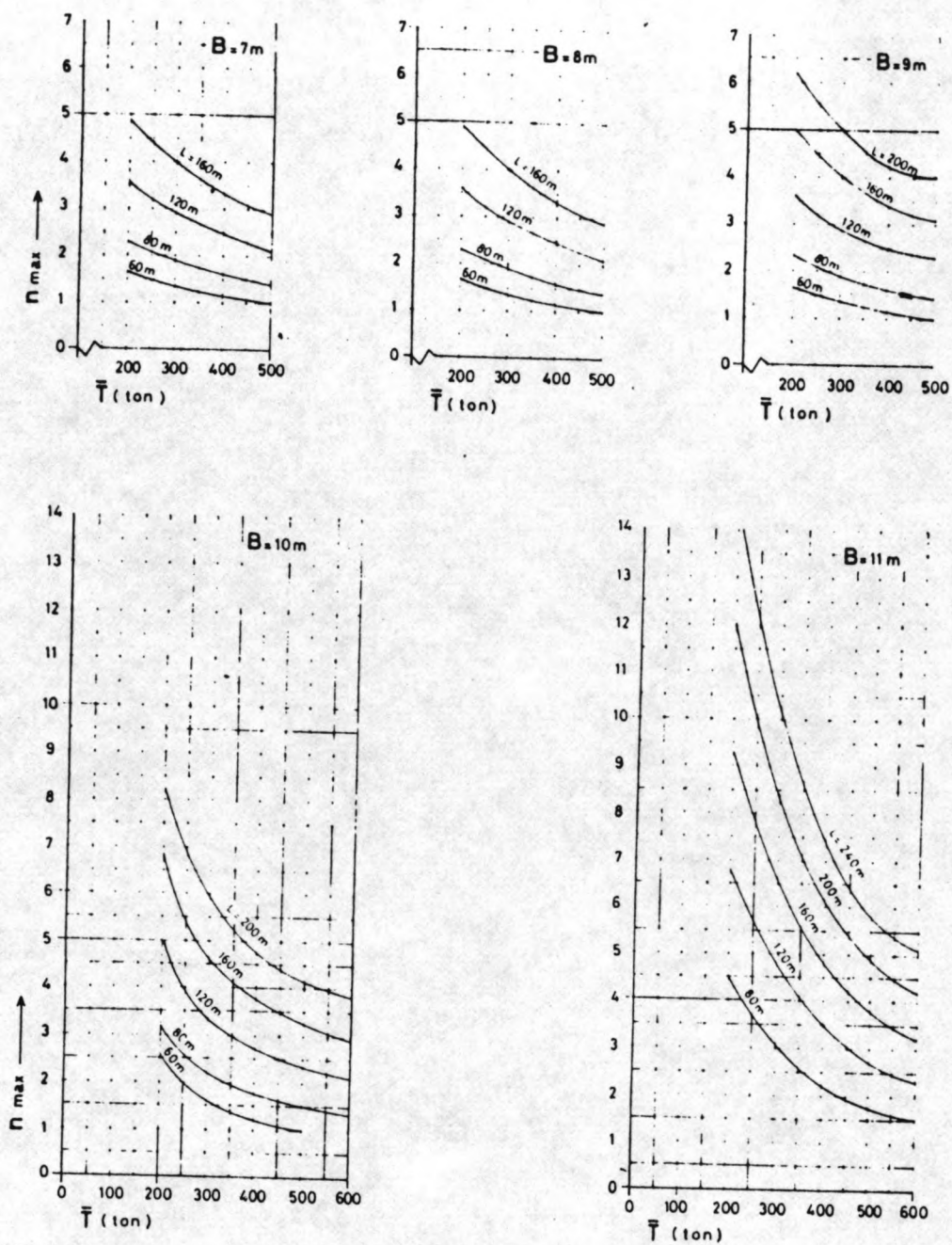
figuur 13

t_u ongeladen



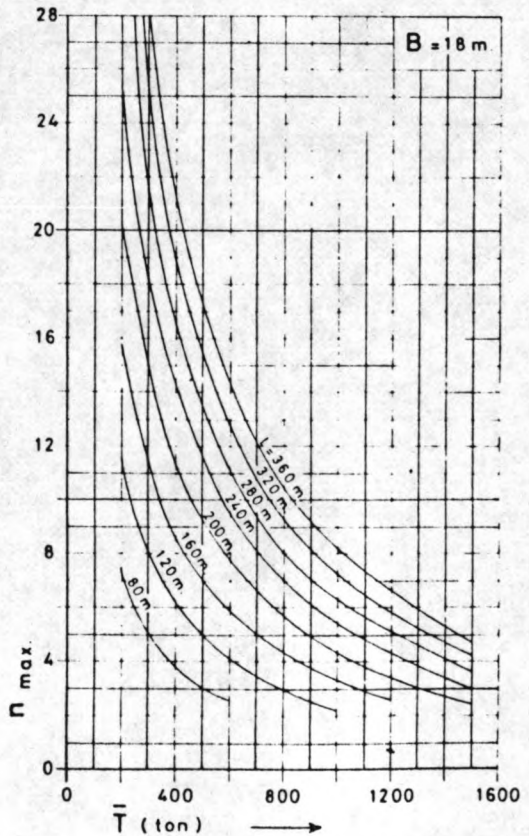
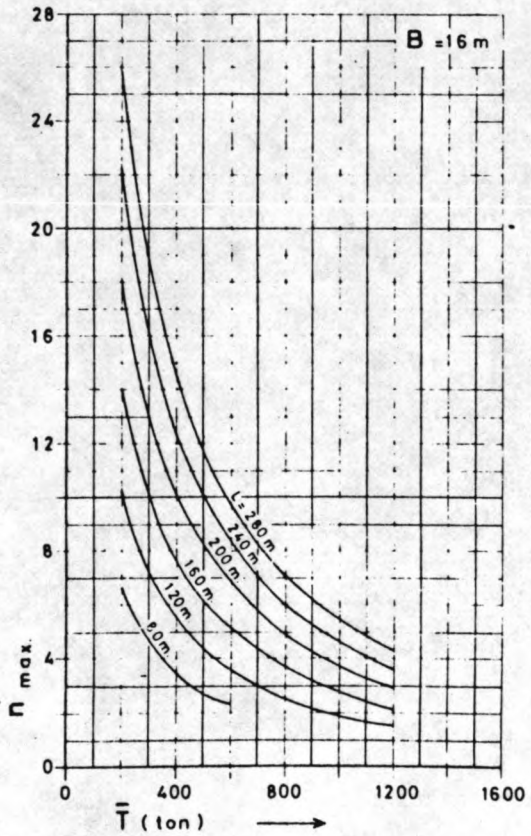
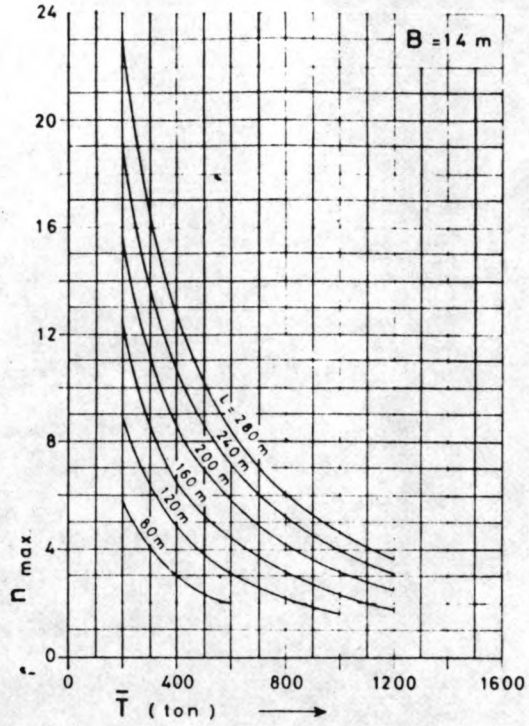
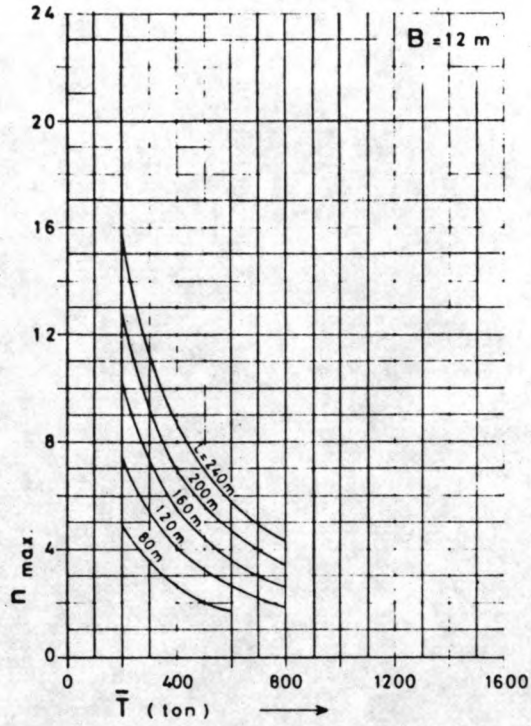
Korrektiegrafiek voor de gemiddelde lustijd (\bar{t}_l).

figuur 14



Maximum aantal schepen dat de sluiskolk kan bevatten (N_{max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkatmetingen

figuur 15



Maximum aantal schepen dat de sluisdok kan bevatten (N_{max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkafmetingen.

figuur 16

		dwarshelling, 1 bak 85 x 12 x 3,5	langshelling, 1 bak 85 x 12 x 3,5	Lift, 1 bak 85 x 12 x 3,5	dwarshelling bak 85 x 10 x 3	langshelling bak 85 x 10 x 3	Lift bak 85 x 10 x 3	pente d'eau circa 85 x 10	pente d'eau hogere snelheid	spaarsluis, 3 bekk. 85 x 12 x 3,5	spaarsluis, 3 bekk. 110 x 14 x 3,5	spaarsluis hogere snelheid	schutsluis 110 x 14 x 3,5	schutsluis 85 x 12 x 3,5	langshelling 85 x 12 x 3,5 hogere snelheid	pente d'eau circa 85 x 12	spaarsluis 142 x 16 x 3,5	schutsluis 142 x 16 x 3,5	langshelling 110 x 12 x 3,5	pente d'eau 85 x 14	spaarsluis met hogere snelheid
a_{max}	(m/s ²)	0,005	0,005	0,005	"	"	"	0,01							0,01	0,02			0,01	0,02	
v_{max}	(m/s)	0,3	0,55	0,10	"	"	"	1,3							0,9	1,2			0,9	1,2	
baanlengte	(m)	28,19	162,20	8,1	"	"	"	270,12							162,20	270,12			162,20	270,12	
helling		30%	5%	-	"	"	"	3%							5%	3%			5%	3%	
tijden:	(min)																				
verplaatsing		2,6	7,1	1,7	"	"	"	6,1	4,0	vul 12 led 13	"	-2,3	vul 8,2 led 9,4	vul 6,7 led 7,5	5,0	5,4	vul 13 led 14	vul 9 led 10,5	5,0	5,4	vul 11 led 12
openen deuren		1,0	1,0	1,0	"	"	"	1,0		1,1	"	-2,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0	1,1
sluiten deuren		1,0	1,0	1,0	"	"	"	1,0		1,6	"		1,6	1,6	1,0	1,0	1,6	1,6	1,0	1,0	1,6
T_b		4,6	9,1	3,7	4,6	9,1	3,7	8,1	6,0	vul 14,7 led 15,7	"	12,4 13,4	vul 10,9 led 12,1	9,4 10,2	7,0	7,4	vul 15,7 led 16,7	11,7 13,2	7,0	7,4	vul 13,7 led 14,7
$\lambda_{opvaart}$		0,95													0,95						
$\lambda_{afvaart}$		0,20													0,20						
\bar{T}	(ton)	600													600						
A_l	(m)	150													150						
F_{bak}	(m ²)	42	42	42	30	30	30	-	-	42	49	49	49	42	42	36	56	56	42	42	56
\bar{t}_i geladen	(min)	3,16	3,16	3,16	3,44	3,44	3,44	3,44	3,44	3,16	3,02	3,02	3,02	3,16	3,16	3,32	2,88	2,88	3,16	3,16	2,88
\bar{t}_i ongeladen	(min)	1,99	1,99	1,99	2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	1,99	1,93	1,93	1,93	1,99	1,99	2,08	1,86	1,86	1,99	1,99	1,86
\bar{t}_u geladen	(min)	1,82	1,82	1,82	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	1,82	1,86	1,86	1,86	1,82	1,82	2,16	1,76	1,76	1,82	1,82	1,76
\bar{t}_u ongeladen	(min)	1,12	1,12	1,12	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28	1,12	1,06	1,06	1,06	1,12	1,12	1,19	1,03	1,03	1,12	1,12	1,03
\bar{t}_i opvaart	(min)	3,10	3,10	3,10	3,38	3,38	3,38	3,38	3,38	3,10	2,97	2,97	2,97	3,10	3,10	3,26	2,83	2,83	3,10	3,10	2,83
\bar{t}_u opvaart	(min)	1,79	1,79	1,79	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	1,79	1,82	1,82	1,82	1,79	1,79	2,11	1,72	1,72	1,79	1,79	1,72
\bar{t}_i afvaart	(min)	2,22	2,22	2,22	2,43	2,43	2,43	2,43	2,43	2,22	2,15	2,15	2,15	2,22	2,22	2,33	2,06	2,06	2,22	2,22	2,06
\bar{t}_u afvaart	(min)	1,26	1,26	1,26	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,26	1,22	1,22	1,22	1,26	1,26	1,38	1,18	1,18	1,26	1,26	1,18
\bar{t}_l opvaart	(min)	3,53	3,53	3,53	3,81	3,81	3,81	3,81	3,81	3,53	3,40	3,40	3,40	3,53	3,53	3,69	3,26	3,26	3,53	3,53	3,26
\bar{t}_l afvaart	(min)	2,59	2,59	2,59	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,59	2,52	2,52	2,52	2,59	2,59	2,70	2,43	2,43	2,59	2,59	2,43
\bar{n}_{max}		1,9	1,9	1,9	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	1,9	2,8	2,8	2,8	1,9	1,9	2,2	3,9	3,9	2,3	2,5	3,9
\bar{T}_d opvaart	(min)	14,3	18,8	13,4	13,5	18,0	12,6	18,1	16,0	24,4	28,5	26,2	24,4	19,1	16,7	19,6	33,8	29,8	18,7	20,1	31,8
\bar{T}_d afvaart	(min)	11,6	16,1	10,7	10,9	15,4	10,0	15,1	13,0	22,7	25,5	23,2	21,9	17,2	14,0	15,9	29,7	26,2	15,4	16,5	27,7
\bar{T}_c	(min)	25,9	34,9	24,1	24,4	33,4	22,6	33,2	29,0	47,1	54,0	49,4	41,6	36,3	30,7	35,5	63,5	56,0	34,1	36,6	59,5
C_s	(sch/uur)	8,8	6,5	9,5	7,4	5,4	8,0	6,1	7,0	4,8	6,2	6,8	7,2	6,3	7,4	7,4	7,4	8,4	8,1	8,2	7,9
C_w	(sch/wk)	729	538	787	613	447	662	505	580	397	513	563	596	522	615	615	610	692	670	679	651
$I_t \times 10^6$	(ton/jr)	17,3	12,8	18,7	14,5	10,6	15,7	12,0	13,8	9,4	12,2	13,4	14,1	12,4	14,6	14,6	14,5	16,4	15,9	16,1	15,4

Tot slot van dit hoofdstuk nog een aantal opmerkingen met betrekking tot de keuze van de verschillende varianten. Uit de berekening van de dwarshelling bleek dat, bij deze afmetingen van de bak, deze alleen al een ruim voldoende capaciteit zou bezitten om alle scheepvaart te kunnen verwerken. Waarmee we feitelijk geconfronteerd werden met de vraag welke functie de oude sluis in dit geval moet gaan vervullen. In eerste instantie was namelijk alleen gedacht aan uitbreiding totdat voldoende capaciteit zou ontstaan. Besloten is toen om voor de zes varianten een zodanige grootte te bepalen dat het nieuwe kunstwerk de gehele scheepvaartintensiteit die zal gaan passeren kan verwerken. Verder werden alle kleinste maten ook doorgerekend voor het geval van in stand houden van de oude sluis. Op de keuze uit deze varianten zal in het volgende hoofdstuk nader worden ingegaan.

Bij de berekening van alle alternatieven behalve het pente d'eau is voor het bepalen van n_{\max} gebruik gemaakt van figuren 15 en 16.

Voor het pente d'eau is de volgende berekeningswijze gehanteerd. Uitgegaan is van een vlootsamenstelling als gegeven in onderstaande tabel.

tabel 4 Vlootsamenstelling naar laadvermogensklassen voor $\bar{T} = 600$ ton

aandeel	laadvermogens- klasse	standaardschip		
		lengte	breedte	diepgang
8,5%	0	25,0 m	4,6 m	1,6 m
32,0%	1	39,0 m	5,1 m	2,3 m
31,0%	2	50,0 m	6,6 m	2,5 m
17,0%	3	67,0 m	8,2 m	2,5 m
11,5%	4	80,0 m	9,5 m	2,6 m

Uitgegaan is van een hoeveelheid water voor de schuif, zodanig dat een klasse 4 schip minimaal 0,40m water onder de kiel heeft aan de voorkant van het schip. Verder is

uitgegaan van een volledige bezetting van de "kolk".
Voor elk type schip is nu bepaald hoeveel schepen maximaal in één maal kunnen worden vervoerd. Dit getal wordt vermenigvuldigd met het aandeel volgens tabel 4.
Dit geeft:

klasse	n_{\max}	x	%	=
0	4,7	x	8,5	= 39,95
1	2,4	x	32,0	= 76,8
2	1,8	x	31,0	= 55,8
3	1,3	x	17,0	= 22,1
4	1	x	11,5	= 11,5
				<hr/>
				206,15 / 100% = 2,1

Ter controle is een zelfde berekening uitgevoerd voor een kolk met dezelfde breedte en nuttige lengte, maar met verticale wanden; afmetingen dus $85 \times 10 \text{ m}^2$.

Dit geeft:

klasse	n_{\max}	x	%	=
0	3,4	x	8,5	= 28,9
1	2,2	x	32,0	= 70,4
2	1,7	x	31,0	= 52,7
3	1,3	x	17,0	= 22,1
4	1	x	11,5	= 11,5
				<hr/>
				185,6 / 100% = 1,8

Volgens figuur 15 moet deze waarde zijn: $n_{\max} = 1,5$.

De gecorrigeerde n_{\max} voor het pente d'eau wordt dan:

$$n_{\max} = \frac{1,5}{1,8} \times 2,06 = 1,7$$

Voor de verschillende breedten is zo de n_{\max} bepaald.
In tabel 3 is het verloop terug te vinden van het rekenproces waarmee voor alle alternatieven de afmetingen zijn bepaald die een vergelijkbare capaciteit hebben, voldoende voor het verwerken van het volledige verkeersaanbod.

Hieronder volgt een overzicht van de in dit hoofdstuk berekende alternatieven die voldoen aan het criterium: capaciteit $15,8 \times 10^6$ ton/jaar.

	capaciteit $\times 10^6$	a	v	helling	T_b	T_c
schutsluis 142 x 16 x 3,5	16,4	-	-	-	11,7/13,2	56,0
spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5 hogere snelheid	15,4	-	-	-	13,7/14,7	59,5
langshelling 110 x 12 x 3,5	15,9	0,01	0,9	5%	7,0	34,1
lift 85 x 12 x 3,5	18,7	0,005	0,1	-	3,7	24,1
dwarshelling 85 x 12 x 3,5	17,3	0,005	0,3	30%	4,6	25,9
pente d'eau 85 x 14	16,1	0,02	1,2	3%	7,4	36,6

De afmetingen van de hieronder vermelde alternatieven zijn de minimale voor het passeren van een klasse 4 schip.

	capaciteit $\times 10^6$	a	v	helling	T_b	T_c
schutsluis 85 x 12 x 3,5	12,4	-	-	-	9,4/10,2	36,3
spaarbekkensluis 85 x 12 x 3,5	9,4	-	-	-	14,7/15,7	47,1
langshelling 85 x 10 x 3	10,6	0,005	0,55	5%	9,1	33,4
dwarshelling 85 x 10 x 3	14,5	0,005	0,3	30%	4,6	24,4
lift 85 x 10 x 3	15,7	0,005	0,1	-	3,7	22,6
pente d'eau 85 x 10	12,0	0,01	1,3	3%	8,1	33,2

6. Vergelijking van kosten

6.1. Inleiding

Nu de van belang zijnde alternatieven zijn bepaald en in het voorgaande al gebleken is dat het aspect kosten verreweg het zwaarst weegt bij het maken van een keuze, zal in dit hoofdstuk getracht worden voor de zes alternatieven een prijs te bepalen.

Voor elk alternatief bestaat deze prijs uit: de bouwkosten, kosten voor onderhoud en bedrijfsvoering, energiekosten en de kosten van het bijkomende gemaal voor de verschillende alternatieven, opgesplitst in bouwkosten en energiekosten.

Om de bouwkosten te kunnen vaststellen is voor elk alternatief het te verwachten grondverzet berekend en een zeer globaal ontwerp gemaakt van de verschillende constructies zodat de hoeveelheden staal en beton konden worden berekend. Ook voor de gemalen is op deze manier een prijs bepaald, zij het dat niet met grondverzet is gerekend en de prijzen van de benodigde installaties beter zijn bepaald. Om de grootte van de gemalen te bepalen is eerst een berekening gemaakt van het waterverbruik van de diverse alternatieven, waarna de prijzen werden bepaald.

In het hierna volgende zal eerst het grondverzet worden berekend, daarna de bepaling van de hoeveelheden beton en staal en de verschillende bijzondere onderdelen in en van de verschillende constructies. Daarna volgt een berekening van het waterverbruik en tenslotte de berekening van de prijzen van de gemalen en de alternatieven, waarna tot een keuze van de beste alternatieven zal worden gekomen.

6.2. Grondverzet

Voor de berekening van het grondverzet is uitgegaan van de aanwezige bodemligging, waarmee voor de kunstwerken

zelf het grondverzet is bepaald. De toeleidingskanalen zijn in deze beschouwing niet meegenomen, want die vallen bij vergelijking van de alternatieven toch weer weg. De aanwezige bodemligging is in eerste instantie bepaald uit de bestekstekeningen van de bestaande sluis, uit 1924. Hierop worden de volgende maten gevonden :

km 2,560 h = 22,90 m + n.a.p.

2,600 22,90

2,750 27,30

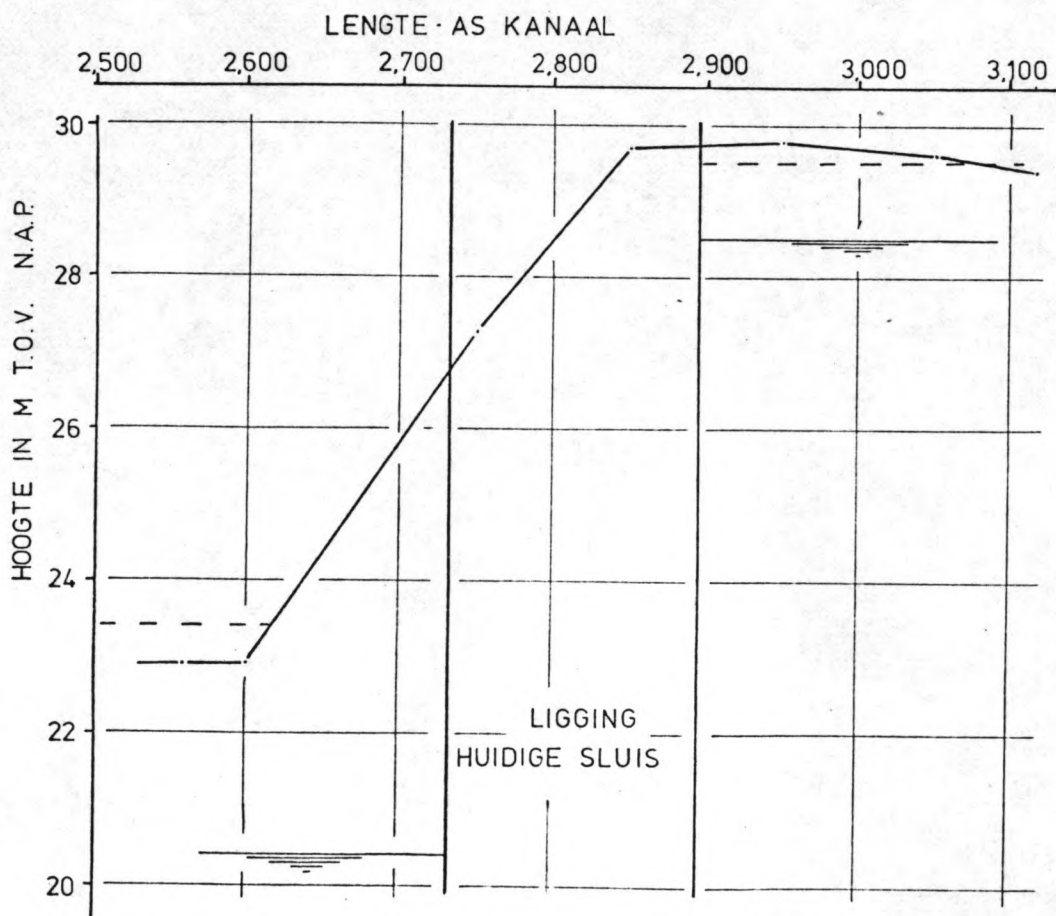
2,850 29,70

2,950 29,70

3,050 29,60

3,115 29,40

Voor het uitvoeren van de, tamelijk globale, berekeningen wordt een grondlichaam aangenomen wat in dwarsprofiel vlak is. Plaatselijke ophogingen en verdiepingen zoals wegen en sloten worden niet meegenomen. De zo te beschouwen strook is minimaal 130 meter breed.



figuur 17

Het aangenomen bodemprofiel is later gecontroleerd met recentere hoogtegegevens, de overeenkomst blijkt zonder meer goed te zijn.

Voor de volledige berekeningen van het grondverzet voor alle zes alternatieven wordt verwezen naar bijlage 3, hierna worden alleen de resultaten van de berekeningen gegeven.

	ontgraving	aanvulling	opmerkingen
schutsluis 142 x 16 x 3,5	176.000	117.000	steilere wanden bouwput geven flinke reductie
spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5	188.400	78.000	idem
langshelling 110 x 12 x 3,5	82.000	-	minimum waarde
	127.000	-	maximum waarde
dwarshelling 85 x 12 x 3,5	93.000	-	maximum waarde
lift 85 x 12 x 3,5	63.600	-	verlaging mogelijk
pente d'eau 85 x 14	70.800	31.600	

Voor de toeleidende kanalen, die in deze berekening niet zijn meegenomen, gaan we ervan uit dat de lengte van het kunstwerk niet van invloed is op de lengte van de toeleidende kanalen. Deze lengte wordt geheel bepaald door de door de scheepvaart gestelde eisen aan uitloop-
lengte en wachtgelegenheid.

6.3. Globaal overzicht van de constructies

In het navolgende is voor de verschillende constructies een aanname gedaan voor de afmetingen van de onderdelen, tenzij deze dwingend zijn voorgeschreven, zoals bij voorbeeld de afmetingen van de deuren. Verder is per alternatief beschreven welke onderdelen aanwezig zijn. De berekende hoeveelheden zijn steeds: de kubieke meters beton, de vierkante meters bekisting en zoveel mogelijk de tonnen staal.

Tenslotte is met behulp van de gegevens uit Ronquières en na gesprekken met deskundigen op het gebied van bewegingswerken het te installeren vermogen van de verschillende aandrijfwerken bepaald. Met de bekende vermogens kon vervolgens de energiebehoefte worden bepaald.

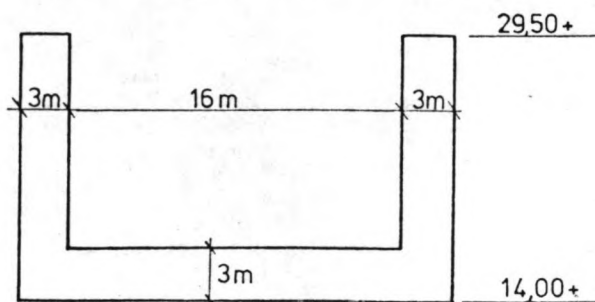
1. Schutsluis 142 x 16 x 3,5 m

De schutsluis bestaat uit: a een betonnen kolk
b een "deur" voor het bovenhoofd
c een "deur" voor het benedenhoofd
d de schuiven en riolen
e een bedieningsgebouw.

Als "deur" wordt in dit geval een stel puntdeuren gedacht.

a de betonnen kolk

Uitgegaan wordt van de volgende afmetingen :



figuur 18

Verder is aangenomen dat deze betonafmetingen niet over de gehele kolk nodig zullen zijn, maar het extra

benodigde beton voor de hoofden, deurkassen, riolen en dergelijke wordt geacht in deze afmetingen te zijn verdisconteerd. Voor de lengte van de bak wordt 175 m aangehouden.

betonvolume : $(2 \times 3 \times 15,5 + 16 \times 3) \times 175 = 24.675 \text{ m}^3$

Voor de bekisting van de kolk geeft dit:

$$2 \times (15,5 + 12,5) \times 175 = 9800 \text{ m}^2$$

Verder in de kolk aanwezig: bolders, ladders, stootranden enz.; deze zaken zullen voor wat betreft de kosten opgenomen worden onder de post nadere detaillering.

b deur bovenhoofd

Voor deze deur gelden de afmetingen 16 x 4 m, verder benodigd zijn bedieningsmachines.

c deur benedenhoofd

De afmetingen worden hier 16 x 12,1 m, verder als b.

d riolen met schuiven

Gedacht wordt aan 2 riolen aan weerszijden van de sluiskolk met een nuttig doorstroomprofiel van 1 m^2 per stuk. De benodigde hoeveelheid beton is al verrekend onder a, wel moet extra bekisting worden aangebracht, namelijk $2 \times 175 \times 4 = 1400 \text{ m}^2$. De schuiven en hun bedieningsmiddelen worden aangenomen onder het hoofd nadere detaillering.

e bedieningsgebouwen met uitrusting

Dit bedieningsgebouw is bij alle alternatieven aanwezig en wordt daarom in de vergelijking niet verder meegenomen.

f energiebehoefte

Alleen voor de bediening van de deuren, schuiven, verwarming en verlichting.

2. Spaarsluis 142 x 16 x 3,5

De spaarsluis bestaat uit dezelfde onderdelen als de schutsluis, vermeerderd met een drietal spaarkommen.

a de betonnen kolk

Aangenomen wordt dat de hoeveelheid beton niet wezenlijk zal veranderen door de spaarkommen en dat het maken ervan niet veel ingewikkelder zal zijn.

b en c zijn hetzelfde als bij de schutsluis.

d riolen en schuiven

De hoeveelheid riool zal groter zijn dan bij de schutsluis en ook zal het aantal schuiven groter zijn. De extra benodigde bekisting wordt geschat op 1000 m².

e bedieningsgebouw, als bij schutsluis.

f spaarkommen

Gedacht wordt aan in den dag aangelegde kommen. Hiervoor benodigd : een waterdichte bekleding en in- en uitstroomopeningen. Het extra benodigde grondverzet is al meegenomen bij de hoeveelheid bekisting en de bekleding volgt onder nadere detaillering.

g De energiebehoefte is als bij de schutsluis, zij het dat iets meer schuiven bediend moeten worden, maar voor de orde grootte van de energiebehoefte maakt dit niets uit.

3. Langshelling 110 x 12 x 3,5

De langshelling bestaat uit: a een bak met water

b de railbaan

c een contragewicht

d het aandrijfwerk in een behuizing

e dubbele deuren, boven en beneden

f voorzieningen tegen aanvaren van de deur boven en de deuren in de bak

g een bedieningsgebouw

h voorzieningen voor niveauverschillen beneden

i voorzieningen voor ijsvrij houden.

a bak met water

De aangenomen werkelijke afmetingen zijn 115 x 12 x 3,5.

Dit geeft voor de watermassa : 4830×10^3 kg.

Vergelijking met andere ontwerpen geeft een staalgewicht van ongeveer 0,5 keer het watergewicht, dit geeft ongeveer 2400×10^3 kg. Hierbij inbegrepen zijn vele wielen met lagering.

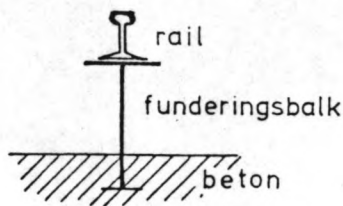
b de railbaan

De lengte van deze baan bedraagt 277 m, zie grondverzetberekening. De benodigde hoeveelheid staal is :

$$8 \text{ rails} \times 277 \text{ m} \hat{=} 70 \text{ kg/m} = 155 \times 10^3 \text{ kg}$$

In verband met de te verwachten asdrukken moet onder elke rail een funderingsbalk aangebracht worden, zie de figuur. Daarom als uiteindelijk staalgewicht aan te houden : $2,5 \times 155 = 388 \cdot 10^3$ kg.

figuur 19



De benodigde hoeveelheid beton is te berekenen uit de volgende aangenomen afmetingen: de breedte van de railbaan wordt 12 m, de dikte gemiddeld 1,5 m; bij een lengte van 277 m geeft dit een volume van $12 \times 1,5 \times 277 = 4980 \text{ m}^3$.

De bekistingsoppervlakte wordt nu :

$2 \times 1,5 \times 12 + 2 \times 1,5 \times 277 = 900 \text{ m}^2$ voor de zijkanten. Verder is bekisting nodig voor de opstanden onder de rails zelf. Aangehouden wordt een gemiddelde hoogte van 0,3 m per opstand. Dit geeft totaal :

$$8 \times 2 \times 0,3 \times 277 = 1330 \text{ m}^2.$$

c het contragewicht

Het totaalgewicht hiervan bedraagt $7200 \cdot 10^3$ kg.

Stel circa $500 \cdot 10^3$ kg staal, voornamelijk voor de wielen en dergelijke, dan is $6700 \cdot 10^3$ kg beton nodig, wat bij een volumegewicht van 24 kN/m^3 gelijk is aan 2800 m^3 . De hoeveelheid bekisting is verwaarloosbaar.

d aandrijfwerk met machinegebouw

De aangenomen maten voor het machinegebouw zijn :

$l = 20 \text{ m}$, $b = 16 \text{ m}$ en $h = 7 \text{ m}$ dus een volume van 2240 m^3 .

Aangenomen betonhoeveelheid, naar inhoud : 400 m^3

Aangenomen hoeveelheid bekisting : 1300 m^2 .

In het machinegebouw verder : aandrijfmachines, lieren, regelapparatuur en de verdere inventaris zoals verwarming, licht enzovoort.

e dubbele deuren

Zowel boven als beneden zijn in de kanaalpanelen deuren vereist en verder aan beide zijden van de bak, dus twee stel dubbele deuren, die twee aan twee gelijktijdig bediend moeten worden. De openingen hebben de afmetingen $12 \times 4 \text{ m}$.

f Bij de deuren moeten speciale voorzieningen getroffen worden tegen aanvaring omdat lekraken van de deuren in de bak en in het bovenpand catastrofale gevolgen kan hebben. Verder moet in het bovenpand rekening worden gehouden met een tweede afsluiting in de vorm van schotbalken of iets dergelijks.

g het bedieningsgebouw

Dit is weer als bij de schutsluis.

h Aangezien in het benedenpand niveauverschillen kunnen optreden moeten aan de bak extra voorzieningen worden meegegeven om in deze bijzondere omstandigheden te kunnen blijven functioneren. In het prijsvergelijk vallen deze voorzieningen onder nadere detaillering.

i Voor het ijsvrij houden van de constructie moet een verwarmingsinstallatie aangebracht worden. Verder moet het lekwater uit het laagste punt weggepompt worden. Ook deze voorzieningen vallen onder nadere detaillering.

j de energiebehoefte

Geëxtrapoleerd uit het geïnstalleerd vermogen te Ronqières en na contact met deskundigen lijkt een geïnstalleerd vermogen van 1000 kW een goede aanname. Per cyclus benodigde energie :

$$\frac{14,2}{60} \times 1000 = 240 \text{ kWh}$$

de cyclusduur bedraagt 34,9 minuten

benodigde energie per jaar bij volbelasting:

$$W = \frac{52 \times 92 \times 60}{34,9} \times 240 = 1,97 \cdot 10^6 \text{ kWh}$$

Verder is nog energie nodig voor de bediening van de deuren, verwarming en verlichting. Dit geldt echter voor alle alternatieven en is dus in de vergelijking niet verder meegenomen. Ten opzichte van bovenstaande energiebehoefte zijn deze posten trouwens toch marginaal.

4. Dwarshelling 85 x 12 x 3,5

De dwarshelling bestaat uit dezelfde onderdelen als de langshelling, dus:

a bak met water

In dit geval gaat het om een bak met een totaalinhoud van $90 \times 12 \times 3,5 = 3730 \text{ m}^3$. Het staalgewicht wordt ongeveer $1800 \cdot 10^3 \text{ kg}$ inclusief wielen en dergelijke.

b de railbaan

De lengte bedraagt hier 40 m, dus de benodigde hoeveelheid staal is hier : $16 \text{ rails} \times 40 \text{ m} \hat{=} 90 \text{ kg/m} = 58.000 \text{ kg}$.

Ook hier weer te rekenen met funderingsbalken, dus een factor 2,5 invoeren : totale hoeveelheid staal is : $2,5 \times 58 \cdot 10^3 = 145 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

Voor de baanafmetingen zijn de volgende aannamen gedaan: $l = 40 \text{ m}$, $b = 65 \text{ m}$, $d = 1,5 \text{ m}$ gemiddeld.

Het betonvolume is dan 3900 m^3 .

Voor de bekisting geeft dit :

voor de zijkanten : $(2 \times 65 + 2 \times 40) \times 1,5 = 320 \text{ m}^2$

voor de opstorten : $16 \times 2 \times 0,3 \times 40 = 390 \text{ m}^2$

c het contragewicht

Het totaalgewicht bedraagt $5600 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

Stal circa $350 \cdot 10^3 \text{ kg}$ staal, dan is ongeveer $5250 \cdot 10^3 \text{ kg}$ beton, wat neerkomt op 2200 m^3 .

d t/m i zijn als bij de langshelling, zij het dat het machinegebouw een wat andere vorm moet hebben, het totale volume daarvan blijft echter hetzelfde.

j de energiebehoefte

Aangenomen voor het te installeren vermogen is 750 kW.

De per cyclus benodigde energie bedraagt

$$\frac{2 \times 2,6}{60} \times 750 = 65 \text{ kWh}$$

cyclusduur is 25,9 minuten, dus de benodigde energie per jaar bedraagt bij volbelasting :

$$\frac{52 \times 92 \times 60}{25,9} \times 65 = 720.000 \text{ kWh.}$$

Verder de energie nodig voor de bediening van de

deuren, verwarming en verlichting, als bij de langshelling.

5. Lift 85 x 12 x 3,5

De lift heeft de volgende onderdelen :

a een bak met water

b 4 heftorens

c een contragewicht

d drijfwerk

e dubbele deuren, boven en beneden

verder de punten f t/m i als bij de langshelling

k keermuur.

a de bak met water

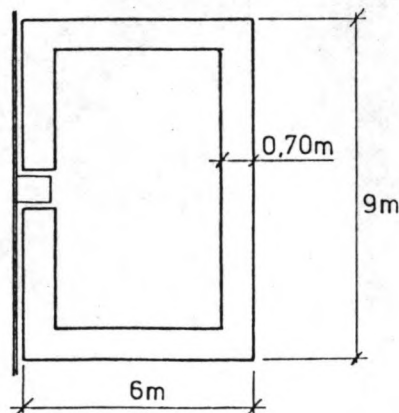
Deze bak heeft dezelfde afmetingen als de bak bij de dwarshelling. Er zitten in dit geval geen wielen onder, maar hij is aan 4 punten opgehangen. Het staalgewicht wordt evenals bij de dwarshelling aangenomen op $1800 \cdot 10^3$ kg.

b 4 heftorens

De hoogte van de torens bedraagt globaal :

$$2 + 3,5 + 8,1 + 2 = 15,6 \text{ m.}$$

waarin de eerste 2 meter staat voor dat gedeelte van de toren dat zich nog onder de bovenkant van de bodem van de bak bevindt, dan 3,5 m waterhoogte, 8,1 meter verval en tenslotte nog 2 meter hierboven benodigd voor trommels waarover de kabels van de contragewichten worden geleid. Aanname voor de trommeldiameter : 4 m. Verder is de volgende doorsnede aangenomen :



figuur 20

De oppervlakte van de doorsnede is dan ongeveer 19 m^2 .

Voor een hoogte van 15,6 m geeft dit ongeveer 300 m^3 beton, maal vier : totaal 1200 m^3 beton.

De hoeveelheid bekisting komt op ongeveer $60 \text{ m}^2/\text{m}^1$
dus totaal : $4 \times 60 \times 15,6 = 3750 \text{ m}^2$.

c de contragewichten

Het totaalgewicht is weer als bij de dwarshelling :
 $5600 \cdot 10^3 \text{ kg}$. Dit, gedeeld door 4, geeft voor deze
(vrijwel) geheel in beton uitgevoerde gewichten
een volume van ongeveer 2330 m^3 .

d Het drijfwerk wordt hier ondergebracht in de hef-
torens, zodat geen extra gebouw noodzakelijk is,
verder als bij langshelling.

e t/m i zijn als bij de langshelling.

j de energiebehoefte

Voor de aandrijving is weer een vermogen van 750 kW
aangenomen.

benodigd per cyclus : $\frac{2 \times 1,7}{60} \times 750 = 43 \text{ kWh}$

De cyclusduur is 24,1 minuten, dus de benodigde
jaarenergie bij volbelasting is :

$$\frac{52 \times 92 \times 60}{24,1} \times 43 = 506.000 \text{ kWh.}$$

De verder benodigde energie is als bij de langshelling.

k een keermuur

Er is gerekend met een rechte keermuur en aanvulling
van de erachter ontgraven grond. Deze muur dient
als overbrugging tussen het bovenpand en de liftbak.
Mogelijk is een oplossing waarbij een overbrugging
wordt gebouwd tussen de lift en het bovenpand goed-
koper, dit is bij de eventuele keuze van dit alternatief
nader te overwegen. Voor de vorm van de keermuur is
de vorm aangenomen die in figuur 21 is getekend.

Het oppervlak bedraagt dan :

$$20 \times 20 + 2 \times 0,5 \times 2 \times 20^2 = 1200 \text{ m}^2$$

Bij een gemiddelde dikte van 1,5 m geeft dit een beton-
volume van 1800 m^3 .

b de schuif

Deze heeft een oppervlak van $14 \times 6,2 \text{ m}^2$ en langs de zijkanten en langs de onderkant is een afdichting aanwezig.

c het contragewicht

We zijn ervan uitgegaan dat ook bij het pente d'eau uitbalanceren van de omhoog te brengen moot water mogelijk is. Wel zijn enige speciale voorzieningen nodig, maar we zijn er van overtuigd dat deze gerealiseerd kunnen worden.

Het volume water voor de schuif is 7580 m^3 , verder wordt voor het gewicht van de schuif + bewegingsmechaniek + loopwagen een gewicht van 500.000 kg aangehouden. Hieruit volgt voor het contragewicht een totaal gewicht van $8100 \cdot 10^3 \text{ kg}$. Geschat staalgewicht $600 \cdot 10^3 \text{ kg}$ aan wielen en dergelijke, het betonvolume wordt 3125 m^3 .

d de deur in het bovenpand

De opening bedraagt $14 \times 4 \text{ m}^2$, waarbij aangetekend moet worden dat het geen puntdeur kan zijn in verband met de mogelijkheid van opendrukken door de translatiegolf bij het naar boven komen van de schuif.

e het aandrijfwerk

Ook hier is voor de vergelijking een vast lierwerk aangehouden. Men kan zich echter afvragen of twee locomotieven op tandradbanen niet effectiever zullen zijn.

f Evenals bij de vorige bak-alternatieven moeten bij de bovendeuren voorzieningen getroffen worden tegen aanvaring.

g Ook hier is weer een bedieningsgebouw nodig, zie de schutsluis.

h de energiebehoefte

Aangenomen geïnstalleerd vermogen : 1500 kW

per cyclus benodigd : $\frac{2 \times 5,4}{60} \times 1500 = 270$ kWh

bij een cyclusduur van 36,6 minuten geeft dit een

benodigde energie per jaar bij volbelasting van

$$\frac{52 \times 92 \times 60}{36,6} \times 270 = 2.100.000 \text{ kWh}$$

Resumé van de gevonden materiaalhoeveelheden bij voorlopige opzet van de constructies.

	beton (m ³)	bekisting (m ²)	staal (kg)	overig
schutsluis 142 x 16 x 3,5	24.700	9800+1400	-	deuren boven en beneden, bedieningsgebouw, riolen met schuiven
spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5	24.700	9800+2400	-	als schutsluis + extra riolen met schuiven, aanleg spaarbekkens
langshelling 110 x 12 x 3,5	8.200	1300+2200	3.300.000	bak, railbaan, contragewicht, machinegebouw, dubbele deuren boven en beneden
dwarshelling 85 x 12 x 3,5	6.500	1300+710	2.300.000	bak, railbaan etc. als bij langshelling
lift 85 x 12 x 3,5	5.300	6250	1.800.000	bak, contragewicht, torens, dubbele deuren, machines etc., keermuur
pente d'eau 85 x 14	19.300	28.800	1.100.000	aandrijfwagen, contragewicht, deur bovenzijde, schuif

6.4. Waterverbruik

Om de grootte van de gemalen te kunnen bepalen die nodig zijn bij de verschillende alternatieven wordt eerst per alternatief een berekening gemaakt van de waterverliezen, waarna met behulp van het gegeven debiet dat nodig is voor bevloeiing de uiteindelijk benodigde capaciteit van de gemalen kan worden berekend.

De volgende uitgangspunten zijn aangehouden bij de berekening:

- berekend wordt het maximale waterverbruik per dag
- de maximale bedieningstijd is 16 uur per dag
- uitgegaan wordt van constant bedrijf, het aantal cycli per dag $n = \frac{16 \times 60}{T_c}$, afgerond.

Enkele getallen voor aangenomen lekverliezen:

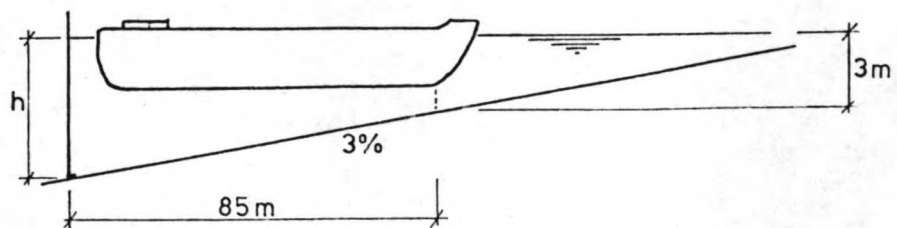
- sluizen : 5 liter/sec/meter verval
- hefwerken : 2,5 liter/sec/meter verval
- verlies tussen dubbele deuren, 2 x per cyclus, met de aannamen : afstand tussen vlakke deuren is 150 mm, bij 1 ruwe deur 300 mm, bij 2 ruwe deuren 450 mm afstand.

De waarde van 300 mm is als mediaan aangehouden.

- Het waterverbruik bij een spaarsluis met n bekkens wordt berekend met de formule :

$$\left(\frac{n}{n+2} - 1,5 \right) \times 100 \%$$

- Voor het pente d'eau wordt in verband met de bewegende afdichting voor lekverliezen het 5-voudige aangenomen van de waarde voor hefwerken, tevens is de hoogte van het schild groter.



figuur 23

$$h = 3.0 + 85 \times 0,03 = 5,55 \text{ m}$$

Het lekverlies is 12,5 liter/sec/meter verval, wat een totaal lekverlies geeft van 70 liter/sec.

De eigenlijke berekening is in tabelvorm uitgevoerd. Bij de berekening voor het debiet van het gemaal is ervan uitgegaan dat het waterverlies tijdens de bedrijfsuren weer gecompenseerd moet worden, dat wil zeggen in 16 uur tijd.

tabel 5 Waterverbruikberekeningen

	watervbruik per cyclus (m ³)	aantal cycli per dag van 16 uur	watervbruik per dag (m ³ /dag)	lekverliezen (m ³ /sec)	lekverliezen per dag (m ³ /dag)	verlies tussen deuren per cyclus (m ³)	verlies tussen deuren per dag (m ³ /dag)	totaal waterverbruik per dag (m ³ /dag)	benodigd debiet voor compensatie (m ³ /s)
schutsluis 142 x 16 x 3,5	142 x 16 x 8,1 = 18.403	17	312.851	0,04	3456	-	-	316.307	5,5
spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5	58,5% = 10.766	16	172.256	0,04	3456	-	-	175.712	3,1
langshelling 110 x 12 x 3,5	-	28	-	0,01	864	12,6	353	1217	0,0
dwarshelling 85 x 12 x 3,5	-	37	-	0,01	864	12,6	466	1330	0,0
lift 85 x 12 x 3,5	-	40	-	0,01	864	12,6	504	1368	0,0
pente d'eau 85 x 14	-	26	-	0,07	6048	-	-	6048	0,1

6.5. Kostprijsberekening gemalen

Het benodigde debiet om het waterverlies te compenseren is nu berekend. Vanuit de directie Limburg van Rijkswaterstaat is de eis gesteld dat daarnaast een debiet van $15 \text{ m}^3/\text{s}$ moet worden geleverd voor bevoeiingsdoeleinden. Hieruit volgt dat bij een schutsluis een gemaal geplaatst moet worden met een capaciteit van $20 \text{ m}^3/\text{s}$, bij een spaarbekkensluis één met een capaciteit van $18 \text{ m}^3/\text{s}$ en bij de overige alternatieven één met een capaciteit van $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Op de volgende bladzijde volgen de kosten van de verschillende onderdelen van de installatie die in een gemaal vereist is. Uitgegaan is van een aantal pompen met een capaciteit van $5 \text{ m}^3/\text{s}$ elk. Verder is voor hoogspanning en elektro algemeen een bedrag gesteld voor het geval van een gemaal van $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Met die gegevens zijn gemalen berekend met de capaciteiten $5 \text{ m}^3/\text{s}$, $10 \text{ m}^3/\text{s}$, $15 \text{ m}^3/\text{s}$ en $20 \text{ m}^3/\text{s}$. De eerste twee omdat ook nog even sprake is geweest van een eis van $5 \text{ m}^3/\text{s}$ voor bevoeiingsdoeleinden, in plaats van $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Bovendien maakt dit een wat betere schatting mogelijk voor de prijs van een gemaal van respectievelijk 8 en $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

Uitgegaan wordt van plaatsing nabij het lage kanaal-
pand met aansluitend een gesloten leiding met een
lengte van 150 meter.

Een mogelijk pomptype is van Stork, type BCV 150.

Hiervoor zijn de kosten berekend.

De benodigde opvoerhoogte wordt berekend met :

$$H_{\text{tot}} = H_{\text{stat}} + H_w + H_{\text{klep}}$$

waarin H_{klep} staat voor drukverlies van 0,5 m over
een terugslagklep.

$$H_{\text{tot}} = 8,1 + 1,5 + 0,5 = 10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{het rendement } \eta_{\text{tot}} &= \eta_{\text{pomp}} \times \eta_{\text{tandwielkast}} \\ &= 0,85 \times 0,96 = 0,82 \end{aligned}$$

Het benodigde vermogen :

$$\begin{aligned} E &= \frac{Q \times H_{\text{tot}} \times 9,81}{\eta} \\ &= \frac{5 \times 10 \times 9,81}{0,82} = 600 \text{ kW} \end{aligned}$$

de pomp kost	f	150.000,-
tandwielkast voor 600 kW met haakse overbrenging 220 - 980	f	100.000,-
kortsluit electromotor, horizontaal opgesteld, 600 kW bij 3000 V	f	100.000,-
frames, koppelingen etc.	f	30.000,-
		<hr/>
totale kosten van de pompeenheid zo	f	380.000,-
afsluitorganen: muurstukken \emptyset 1500, vlinderklep met elektrische aandrijving,		
E-stuk, samen	f	50.000,-
trafo	f	30.000,-
kroosrek	f	50.000,-
kroosrekineriger	f	150.000,-
hoogspanningsinstallatie + schakelaars	f	150.000,-
electro algemeen, verlichting,		
noodaggregaat, besturing en dergelijke	f	50.000,-
noodschuif	f	15.000,-

Voor onderhoud is te rekenen met ongeveer $\frac{1}{2}$ manjaar
per jaar. Eventueel kan ook een open afvoerkanaal

aangelegd worden, dit geeft minder leidingverliezen
en is verder ook goedkoper.

tabel 6 kostprijs installaties voor gemalen

samenstellende onderdelen:	gemaal met een capaciteit van			
	5 m ³ /s	10 m ³ /s	15 m ³ /s	20 m ³ /s
pompeenheid, bestaande uit pomp, tandwielkast, electromotor en frame	f 380.000,-	f 760.000,-	f 1.140.000,-	f 1.520.000,-
afsluitklep	f 50.000,-	f 100.000,-	f 150.000,-	f 200.000,-
transformator	f 30.000,-	f 60.000,-	f 90.000,-	f 120.000,-
hoogspanningsinstallatie	f 120.000,-	f 130.000,-	f 140.000,-	f 150.000,-
electro algemeen, licht, noodaggregaat, besturing	f 120.000,-	f 130.000,-	f 140.000,-	f 150.000,-
kroosrek	f 12.500,-	f 25.000,-	f 37.500,-	f 50.000,-
kroosrekreiniger	f 37.500,-	f 75.000,-	f 112.500,-	f 150.000,-
noodschuif	f 15.000,-	f 15.000,-	f 15.000,-	f 15.000,-
totale kosten installaties, exclusief B.T.W. en montage	f 765.000,-	f 1.295.000,-	f 1.825.000,-	f 2.355.000,-

Resumé installaties:

Inclusief montage en exclusief B.T.W. worden de verschillende bedragen gevonden :

capaciteit	kosten
5 m ³ /s	1,0 miljoen
10 m ³ /s	1,6 miljoen
15 m ³ /s	2,2 miljoen
20 m ³ /s	2,8 miljoen
8 m ³ /s	1,4 miljoen
18 m ³ /s	2,5 miljoen

Opmerking : De kosten voor de gemalen met capaciteit 8 respectievelijk 18 m³/s zijn geschat uit de vier andere gemalen. De beide gemalen komen sterk overeen met die van 10 respectievelijk 20 m³/s, alleen de te installeren pompen, leidingen en dergelijke worden wat kleiner.

In de nu volgende totale kosten is een bedrag ingevuld voor betonwerk. Deze bedragen zijn afgeleid van de kosten van het gemaal te Maasbracht, wat enigszins vergelijkbaar is.

gemaal voor 20 m³/s :

installaties	f 2.800.000,-
betonwerk	f 11.000.000,-
	<hr/>
totaal	f 13.800.000,-
	x 2 f 27.600.000,-
	=====

gemaal voor 18 m³/s :

installaties	f 2.500.000,-
betonwerk	f 10.000.000,-
	<hr/>
totaal	f 12.500.000,-
	x 2 f 25.000.000,-
	=====

gemaal voor 15 m³/s :

installaties	f 2.200.000,-
betonwerk	f 9.000.000,-
	<hr/>

totaal	f 11.200.000,-
	x 2 f 22.400.000,-
	=====

De hier toegepaste factor 2 is als volgt opgebouwd :

onvoorzien en nadere detaillering	25%
indirecte kosten	15%
uitvoering	4%
algemene kosten	6%
winst en risico	7%
B.T.W.	18%

Dit zijn cumulatieve factoren, dus te berekenen als :

$$1,25 \times 1,15 \times 1,04 \times 1,06 \times 1,07 \times 1,18 = 2$$

Deze factor zal in het vervolg steeds gehanteerd worden om van netto kosten tot de totale kosten te komen in de berekeningen.

6.6. Kostprijsberekening van de alternatieven

Nu voor de gemalen een prijs is bepaald, rest nog de berekening van de prijzen voor de verschillende in beschouwing genomen alternatieven. Tijdens ons onderzoek naar de verschillende prijzen bleek dat voor deze alternatieven de prijzen in twee delen zijn te onderscheiden, namelijk prijzen voor het staalwerk en de aandrijfwerktuigen en de prijzen voor het beton- en grondwerk. Eerst volgen nu de prijzen voor het staal en de drijfwerken. De prijzen spreken voor zich en behoeven verder geen commentaar. Bij elke post staan de eenheidsprijzen vermeld, zodat eenvoudig is te controleren hoe de prijzen zijn opgebouwd. Daarna volgt voor het beton- en grondwerk een soortgelijke opzet. Tenslotte is alles nog een keer op een rij gezet en zijn de te verwachten bouw-prijzen berekend.

De posten die pro memorie zijn vermeld worden geacht te zijn verdisconteerd in de 25% voor onvoorzien en nadere detaillering.

diversen p.m.

Dwarshelling 85 x 12 x 3,5

deuren 12 x 4 m² als bij langshelling
f 4.320.000,-
stalen bak 90 x 12 x 3,5, gewicht
1800.000 kg, à f 6,- / kg f 10.800.000,-
contragewicht 350.000 kg
à f 8,- / kg f 2.800.000,-
railbaan 145.000 kg à f 3,50 / kg f 510.000,-
aandrijfwerk gesteld op 3/4 van
langshelling, inclusief elektrische
installatie f 2.430.000,-
staalkabels 65.000 kg à f 5,- / kg f 325.000,-
diversen p.m.

Lift 85 x 12 x 3,5

deuren als bij langshelling f 4.320.000,-
stalen bak als bij de dwarshelling
1800.000 kg à f 5,- / kg f 9.000.000,-
staal voor contragewicht zie diversen
aandrijfwerk vergelijkbaar in vermogen
met de dwarshelling, zelfde prijs f 2.430.000,-
staalkabels 68.000 kg à f 5,- / kg f 340.000,-
diversen p.m.

Pente d'eau 85 x 14

1 deur 14 x 4 m² à f 25.000,- / m² f 1.400.000,-
(hefdeur wegens opendrukken)
schuif 14 x 6,2 m² à f 25.000,- / m² f 2.170.000,-
(verbonden aan drijfwerk)
contragewicht 600.000 kg staal
à f 8,- / kg f 4.800.000,-
railbaan 500.000 kg à f 3,50 / kg f 1.750.000,-

aandrijfwerk afgeleid van de prijs
bij de langshelling, het vermogen
is hier 1,5 maal groter f 4.860.000,-
staalkabels 65.000 kg à f 5,- / kg f 325.000,-
diversen p.m.

Dan volgen nu de kosten voor beton- en grondwerk.

Schutsluis

grondverzet à f 4,60 per kubieke meter
ontgraven 176.000 m³
aanvullen 117.000 m³
totaal 293.000 m³ à f 4,60 f 1.348.000,-

betonwerk:

de hoeveelheid wapeningsstaal is ongeveer 80 kg / m³
kosten: levering f 85,- / m³
verwerken f 16,- / m³
materieel f 10,- / m³
totaal f 111,- / m³

beton storten kost

24.700 x f 111,- = f 2.742.000,-

kosten wapening: levering f 0,80 / kg

verwerken f 0,55 / kg

totaal f 1,35 / kg

wapening kost

80 x 24.700 x f 1,35 = f 2.668.000,-

totaal beton en wapening f 5.410.000,-

de bekisting is te onderscheiden in

1e kolkwanden 1,75 manuur / m² à f 32,- = f 56,-

materiaal à f 20,- / m² f 20,-

totaal f 76,- / m²

2e moeilijker werk, zoals riolen:

2,5 manuur / m² à f 32,- = f 80,-

materiaal f 30,- / m² f 30,-

totaal f 110,- / m²

totale kosten bekisting :

$$9800 \times 76 + 1400 \times 110 = f \quad 899.000,-$$

De verschillende hoeveelheden komen uit de resumé's op bladzijden 42 en 54.

De hier berekende prijzen per kg staal, per m³ beton of per m² bekisting zullen in het vervolg niet nader gespecificeerd worden tenzij ze anders zijn dan hierboven is beschreven.

Spaarbekkensluis

grondverzet: ontgraven 188.400

aanvullen 78.000

totaal 266.400 m³ à f 4,60

f 1.225.000,-

betonwerk: wapening:

$$80 \times 24.700 \times 1,35 = f \quad 2.668.000,-$$

$$\text{beton} : 24.700 \times 111 = f \quad 2.742.000,-$$

totale betonkosten f 5.410.000,-

$$\text{bekisting: } 9800 \times 76 + 2400 \times 110 \quad f \quad 1.009.000,-$$

Langshelling

grondverzet 127.000 m³ à f 4,60 f 584.000,-

Voor het aanbrengen van wapeningsstaal wordt hier f 1,24 / kg aangehouden, want er is hier sprake van eenvoudig vlechtwerk. Daarom is de verwerkingsprijs f 0,44 / kg in plaats van f 0,55 / kg.

De f 0,55 was berekend uit 15 manuren / ton à f 32,- per manuur, maal 1,15 voor bijkomende lasten; voor dit eenvoudige werk is 12 manuur / ton aangehouden.

betonwerk: wapening:

$$80 \times 8200 \times 1,24 = f \quad 813.000,-$$

$$\text{beton: } 8200 \times 111 = f \quad 910.000,-$$

totale betonkosten f 1.723.000,-

bekisting 2230 x 110 + 1300 x 76 = f 344.000,-

Dwarshelling

grondverzet: ontgraven: 93.000 m³
à f 4,60 f 428.000,-
betonwerk: wapening:
80 x 6500 x 1,24 = f 645.000,-
beton: 6500 x 111 = f 722.000,-
totaal f 1.367.000,-
bekisting: 1300 x 76 + 710 x 110 = f 177.000,-

Lift

grondverzet: ontgraven: 63.600
aanvullen: 9.000
totaal 72.600 m³ à f 4,60
f 334.000,-

betonwerk: wapening:
80 x 5300 x 1,35 = f 572.000
beton: 5300 x 111 = f 588.000,-
totaal f 1.160.000,-

Voor het aanbrengen van de bekisting
is hier 2 manuur / m² aangehouden.

Samen met een bedrag van f 25,- / m²
voor materiaalverbruik geeft dit een
prijs per m² van 2 x 32 + 25 = f 89,-

bekisting 6250 x 89 = f 556.000,-

Pente d'eau

grondverzet: ontgraven: 70.800
aanvullen: 31.600
totaal 102.400 m³ à f 4,60
f 471.000,-

betonwerk: wapening:
80 x 19.300 x 1,24 = f 1.915.000,-
beton: 19.300 x 111 = f 2.142.000,-

totale betonkosten *f* 4.057.000,-
 bekisting: 28.800 x 89 = *f* 2.563.000,-

Nu van alle verschillende onderdelen de prijs is bepaald kunnen de verwachte bouwkosten van de verschillende alternatieven worden berekend. Deze zijn verzameld in de tabel.

tabel 7 bouwkosten van de verschillende alternatieven

samenstellende onderdelen:	schutsluis	spaarbekkensluis	langshelling	dwarshelling	lift	penne d'eau
grondverzet	<i>f</i> 1.348.000,-	1.225.000,-	584.000,-	428.000,-	334.000,-	471.000,-
betonwerk	<i>f</i> 5.410.000,-	5.410.000,-	1.723.000,-	1.367.000,-	1.160.000,-	4.057.000,-
bekisting	<i>f</i> 899.000,-	1.009.000,-	344.000,-	177.000,-	556.000,-	2.563.000,-
bovendeuren	<i>f</i> 800.000,-	800.000,-	(((1.400.000,-
benedendeuren	<i>f</i> 2.420.000,-	2.420.000,-	(4.320.000,-	(4.320.000,-	(4.320.000,-	-
bak	<i>f</i> -	-	14.400.000,-	10.800.000,-	9.000.000,-	-
contragewicht (staal)	<i>f</i> -	-	4.000.000,-	2.800.000,-	-	4.800.000,-
railbaan (staal)	<i>f</i> -	-	1.400.000,-	510.000,-	-	1.750.000,-
drijfwerk	<i>f</i> -	-	3.240.000,-	2.430.000,-	2.430.000,-	4.860.000,-
staalkabels	<i>f</i> -	-	250.000,-	325.000,-	340.000,-	325.000,-
schuif	<i>f</i> -	-	-	-	-	2.170.000,-
totaal nettokosten	<i>f</i> 10.877.000,-	10.864.000,-	30.269.000,-	23.157.000,-	18.140.000,-	22.396.000,-

Op de berekende kosten moeten nog de verschillende toeslagen gesuperponeerd worden die zijn vervat in de al eerder gebruikte factor 2. Dit geeft als eindresultaat voor de verwachte bouwkosten :

schutsluis 142 x 16 x 3,5	f 10.877.000,-
x 2	f 21.754.000,-
afgerond 21,8 miljoen	
=====	
spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5	f 10.864.000,-
x 2	f 21.728.000,-
afgerond 21,7 miljoen	
=====	
langshelling 110 x 12 x 3,5	f 30.269.000,-
x 2	f 60.522.000,-
afgerond 60,5 miljoen	
=====	
dwarshelling 85 x 12 x 3,5	f 23.157.000,-
x 2	f 46.314.000,-
afgerond 46,3 miljoen	
=====	
lift 85 x 12 x 3,5	f 18.140.000,-
x 2	f 36.280.000,-
afgerond 36,3 miljoen	
=====	
pente d'eau 85 x 14	f 22.396.000,-
x 2	f 44.792.000,-
afgerond 44,8 miljoen	
=====	

6.7. Bedrijfskosten

In wat nu volgt wordt voor de gehele constructie een levensduur van 50 jaar aangehouden. Voor het civiele gedeelte is dit reëel, de elektrische en mechanische onderdelen hebben een kortere levensduur, globaal variërend tussen 10 en 20 jaar. Wij gaan ervan uit dat deze onderdelen twee keer vervangen worden. De bouwkosten worden berekend per 1 januari 1980, zodat onderhouds- en andere kosten ook naar dit

tijdstip terug gerekend worden.

De totale kosten van de delen die vervangen moeten worden bedragen :

schutsluis	f 1,6 milj. x 2 = f 3,2 miljoen
spaarbekkensluis	f 1,6 milj. x 2 = f 3,2 miljoen
gemaal 20 m ³ /s	f 2,0 milj. x 2 = f 4,0 miljoen
gemaal 18 m ³ /s	f 1,7 milj. x 2 = f 3,4 miljoen
langshelling	f 6,0 milj. x 2 = f 12,0 miljoen
dwarshelling	f 5,0 milj. x 2 = f 10,0 miljoen
lift	f 5,0 milj. x 2 = f 10,0 miljoen
gemaal 15 m ³ /s	f 1,3 milj. x 2 = f 2,6 miljoen
pente d'eau	f 7,0 milj. x 2 = f 14,0 miljoen

Aangezien deze bedragen al in guldens van 1980 staan hoeft voor het berekenen van de totale vervangingskosten slechts met 2 vermenigvuldigd te worden.

schutsluis	6,4 miljoen
spaarbekkensluis	6,4 miljoen
gemaal 20 m ³ /s	8,0 miljoen
gemaal 18 m ³ /s	6,8 miljoen
langshelling	24,0 miljoen
dwarshelling	20,0 miljoen
lift	20,0 miljoen
pente d'eau	28,0 miljoen
gemaal 15 m ³ /s	5,2 miljoen

De overige bedrijfs- en onderhoudskosten kunnen per jaar berekend worden, wat we dan ook zullen doen.

We zijn er van uitgegaan dat 1 man voldoende is om één van de alternatieven te bedienen. Aangezien 16 uur op een dag iemand aanwezig moet zijn, zijn we uitgegaan van 3 man. Voor administratief werk en klein onderhoudswerk aan zowel de machines van het alternatief als aan het gemaal wordt samen ook 1 man aangehouden, zodat totaal 4 man permanent

in dienst is.

Voor verdere onderhoudskosten behalve de eerder genoemde vervangingen van de installaties wordt voor de schut- en spaarsluizen een percentage van 0,5% van de bouwkosten aangehouden, voor de overige alternatieven 1 manjaar per jaar à f 45.000,-.

Voor de energie is een prijs van f 0,25 per kWh aangehouden. Na overleg met de P.L.E.M. bleek deze waarde wel ongeveer juist te zijn. Een en ander is verder in tabelvorm uitgevoerd.

tabel 8 bedrijfs- en onderhoudskosten

	aantal man personeel	personeelskosten (f / jaar)	onderhoud	onderhoudskosten (f / jaar)	energieverbruik (kWh / jaar)	energiekosten (f / jaar)	totale bedrijfskosten (f / jaar)
schutsluis	3,5	157.500,-	0,5%	102.000,-	-	-	259.000,-
gemaal 20 m ³ /s	0,5	22.500,-	-	-	6.000.000	1.500.000,-	22.500,- + 1.500.000,-
spaarbekkensluis	3,5	157.500,-	0,5%	103.500,-	-	-	261.000,-
gemaal 18 m ³ /s	0,5	22.500,-	-	-	5.400.000	1.350.000,-	22.500,- + 1.350.000,-
langshelling	3,5	157.500,-	45.000,-	45.000,-	1.970.000	492.500,-	202.500,- + 492.500,-
dwarshelling	3,5	157.500,-	45.000,-	45.000,-	720.000	180.000,-	202.500,- + 180.000,-
lift	3,5	157.500,-	45.000,-	45.000,-	506.000	126.500,-	202.500,- + 126.500,-
pente d'eau	3,5	157.500,-	45.000,-	45.000,-	2.100.000	525.000,-	202.500,- + 525.000,-
gemaal 15 m ³ /s	0,5	22.500,-	-	-	4.500.000	1.125.000,-	22.500,- + 1.125.000,-

6.8. Vergelijking van de kosten

Voor het vergelijken worden alle te verwachten kosten contant gemaakt naar de vergelijkingsdatum, 1 januari 1980. Voor de economische levensduur van de constructies wordt 50 jaar aangenomen. Er wordt dus van uitgegaan dat de constructies na 50 jaar gebruik zozeer verouderd zijn dat ze vervangen moeten worden. Daarom worden de jaarlijkse kosten voor 50 jaren meegenomen. De kosten voor het vervangen van elektrische en mechanische delen zijn ook op deze levensduur gebaseerd.

Er worden nu twee vergelijkingen gemaakt, de eerste met een discontovoet van 7% voor alle kosten, de tweede met eveneens 7% voor alle kosten, behalve de energiekosten, waarvoor 10% wordt gesteld, dit om de extra prijsstijging uit te drukken van energiedragers zoals die de laatste jaren optreedt.

In de eerste vergelijking wordt aangenomen dat de prijsstijgingen dezelfde groei vertonen als de rente die op het beschikbare kapitaal gegeven wordt, beide zijn dus 7%. Aangezien beide gelijk zijn valt de discontovoet weg uit de berekening, waardoor het mogelijk is de jaarlijkse kosten met 50 te vermenigvuldigen om de contante totale bedrijfskosten, exclusief de vervangingskosten, te krijgen.

De berekeningen zijn als volgt (bedragen in miljoenen guldens) :

	bedrijfskosten per jaar	$\times 50 =$	kontante waarde	+	vervangings- kosten	=	kontante totale bedrijfskosten
schutsluis	0,259		13,0		6,4		19,4
spaarbekkensluis	0,261		13,1		8,0		21,1
langshelling	0,695		34,8		24,0		58,8
dwarshelling	0,383		19,1		20,0		39,1
lift	0,329		16,5		20,0		36,5
pente d'eau	0,728		36,4		28,0		64,4

gemaal 20 m ³ /s	1,523	76,1	8,0	84,1
gemaal 18 m ³ /s	1,373	68,6	6,8	75,4
gemaal 15 m ³ /s	1,148	57,4	5,2	62,6

In de tweede vergelijking wordt eveneens 7% aangenomen voor prijsstijgingen en rente op kapitaal, voor de energieprijzen wordt echter een stijging van 10% aangenomen.

Hierdoor wordt het aandeel van de energiekosten elk jaar groter, zodat het nu niet meer mogelijk is de jaarlijkse kosten met 50 te vermenigvuldigen. De energiekosten moeten nu ook nog met een factor 2,189 vermenigvuldigd worden om tot de juiste uitkomst te komen.

	energie /jaar	x2,189	overige bedr.kst. /jaar	kontante waarde	verv. kosten	kontante totale bedr.kosten
schutsluis	-	-	0,259	13,0	6,4	19,4
spaarbekkensluis	-	-	0,261	13,1	8,0	21,1
langshelling	0,493	1,078	0,203	64,0	24,0	88,0
dwarshelling	0,180	0,394	0,203	29,8	20,0	49,8
lift	0,127	0,277	0,203	24,0	20,0	44,0
pente d'eau	0,525	1,149	0,203	67,6	28,0	95,6
gemaal 20 m ³ /s	1,500	3,284	0,023	165,3	8,0	173,3
gemaal 18 m ³ /s	1,350	2,955	0,023	148,9	6,8	155,7
gemaal 15 m ³ /s	1,125	2,463	0,023	124,3	5,2	129,5

Nu kunnen de kosten van gelijkwaardige alternatieven berekend worden door de kosten van het alternatief en het bijbehorende gemaal bij elkaar op te tellen.

Zie de volgende bladzijde.

Totale kosten, in miljoenen guldens, contante waarde
op 1 januari 1980,
bij een discontovoet van 7%

	bouw	bouw gemaal	bedrijf	bedrijf gemaal	totaal	vergelijkend
schutsluis	21,8	27,6	19,4	84,1	152,9	107%
spaarbekkensluis	21,7	25,0	21,1	75,4	143,2	100%
langshelling	60,5	22,4	58,8	62,6	204,3	143%
dwarshelling	46,3	22,4	39,1	62,6	170,4	119%
lift	36,3	22,4	36,5	62,6	157,8	110%
pente d'eau	44,8	22,4	64,4	62,6	194,2	136%

en bij discontovoeten van 7% en 10% voor energie

schutsluis	21,8	27,6	19,4	173,3	242,1	108%
spaarbekkensluis	21,7	25,0	21,1	155,7	223,5	100%
langshelling	60,5	22,4	88,0	129,5	300,4	134%
dwarshelling	46,3	22,4	49,8	129,5	248,0	111%
lift	36,3	22,4	44,0	129,5	232,2	104%
pente d'eau	44,8	22,4	95,6	129,5	292,3	131%

6.9. Conclusies uit de kostenvergelijking

Kostenvergelijking over 50 jaar bij een rentevoet van 7% laat zien dat de alternatieven enigszins bij elkaar in de buurt blijven. De bijdrage van de bedrijfskosten in het totaal is zeer aanzienlijk.

Als de vergelijking wordt herhaald met een rentevoet van 7% voor alle kosten behalve energie, waarvoor een rentevoet van 10% wordt genomen, blijken de verschillen tussen de alternatieven nog kleiner te worden.

Als de huidige ontwikkelingen in de wereldenergievoorziening bekeken worden is het reëler om voor energie met een extra kostenstijging boven de algemene kostenstijging te rekenen. Hoe groot deze extra kostenstijging zal zijn is van vele, ook niet-technische, factoren afhankelijk en valt met geen mogelijkheid te voorspellen.

De vergelijking toont wel dat deze extra kostenstijging groot gewicht in de schaal legt. De gebruikskosten, waarin de energiekosten zijn verwerkt, vormen verreweg het grootste kostenaandeel.

Het resultaat is dat een hellend langsvlak en een pente d'eau in deze situatie niet in aanmerking komen. De andere vier alternatieven zijn ongeveer vergelijkbaar.

Van deze resterende alternatieven zullen het hellend dwarsvlak en de scheepslift verder uitgewerkt worden.

7. Aanvullingen en uitbreidingen

Van de recreatievaart wordt gezegd dat toename ongewenst is. Onderzocht moet nog worden in hoeverre recreatievaart mogelijk is en welke maatregelen getroffen moeten worden ter beperking van de groei.

Nog enkele opmerkingen:

- De sluis te Panheel is 's zondags gesloten wat een rem op de pleziervaart betekent.
- De huidige Zuid-Willemsvaart is smal en daardoor gevaarlijk voor kleine schepen. Een verbrede Zuid-Willemsvaart zal minder aantrekkelijk zijn voor de recreatievaart door het strakke uiterlijk en verloop.
- Recreatievaart kan een sterk verlagende invloed hebben op de schutcapaciteit. In drukke tijden kan hiervoor de gereviseerde huidige sluis gebruikt worden.

De waarde $\lambda_{\text{zuid}} = 0,20$ verdient mogelijk nadere toelichting.

Een groot deel van de verwachte groei van de scheepvaart bestaat uit doorgaand verkeer, van het westen naar Zuid-Limburg. Het valt niet aan te nemen dat schepen op deze route vol heen en leeg terug zullen varen, zij zullen retourvracht zoeken. In de huidige situatie is er alleen lokaal verkeer, deze schepen varen leeg terug, waardoor de lage huidige waarde van λ_{zuid} ontstaat. Het is duidelijk dat door het aandeel van de nieuwe doorgaande vaart deze waarde zal stijgen. De waarde 0,20 is arbitrair.

De gebruikte methode voor de capaciteitsberekening berust op een gemiddelde waarde van n_{max} voor het aantal schepen in een kolkvulling.

Bij de in deze situatie gevonden lage waarden van n_{max} is het gebruik van de diagrammen tamelijk onbetrouwbaar. Een waarde voor n_{max} is beter te bepalen met een simulatieberekening van de kolkvulling. Er wordt dan een aankomstvolgorde van schepen aangenomen, waarbij de optimale

kolkvulling, zoals de sluiswachter deze zal realiseren, gesimuleerd kan worden. Hieruit volgt een reëler beeld van de n_{\max} .

Dit kan een onderwerp van nadere studie zijn.

Er is geen onderzoek gedaan naar de wachttijden voor de schippers, wat ook een kostenpost is. Dit onderzoek is wel gewenst, daar bij een aanbod voor de sluis wat de maximale capaciteit benadert de wachttijden sterk toenemen. Dit kan reden zijn om de capaciteit wat groter te kiezen, in feite is dit een optimalisatieprobleem. In de capaciteitsberekening is dit terug te vinden in de factor I_w/C_w , het toelaatbare scheepsaanbod ten opzichte van de berekende sluiscapaciteit. Deze factor is aangenomen als 0,85.

Bij de capaciteitsberekening zijn min of meer willekeurige kolkvormen aangenomen. Naar de ideale kolkvorm kan een nader onderzoek verricht worden.

Oude sluisen hadden vaak een grote lengte, gebaseerd op de sleepvaart, een sleper en twee sleepschepen pasten er precies in. Deze lengte was in de orde van 200 meter. Met het verdwijnen van de sleepvaart werden de sluisen korter, in de orde van 150 meter.

Echter een duwstel met 2 bakken kan daardoor niet passeren met zijn lengte van 175 meter, de sluisen zijn te kort.

De nieuwste tendens is er weer een van grotere lengte, bij een minimale breedte van 12 meter.

Gerekend is met een verval van 8,1 meter. Dit getal berust echter op verouderde gegevens. In de zestiger jaren is het stuwpeil van de stuw te Linne verhoogd van 20,40 tot 20,50 m + n.a.p. Het normaal aanwezige verval bedraagt daardoor 8,0 meter.

Dit onderzoek beschouwt de sluis Panheel, zonder te kijken naar de capaciteit van aansluitende vaarwegen.

De capaciteit is uiteraard afhankelijk van de zwakste schakel in een keten van sluizen. Het zal daarom de moeite waard zijn om een onderzoek te doen naar de onderlinge afstemming van de verschillende kunstwerken, zodanig dat van elk de capaciteit volledig benut wordt. Hierbij kan gedacht worden aan optimalisering van de plaats, het verval en de afmetingen en constructie.

De resultaten van het onderzoek worden gepresenteerd als enkelvoudige cijfers. Een gevoeligheidsanalyse van de invloed van wijzigingen in de diverse aannamen is op zijn plaats om na te gaan of de onderlinge verhoudingen zich dan niet sterk wijzigen.

In de berekeningen voor waterverbruik en energieverbruik is uitgegaan van continu volbelast werken. Zoals in de capaciteitsberekening te zien is, is dit niet terecht, er is gedimensioneerd op een maatgevende week met 2,15% van de jaarcapaciteit. Hierdoor is het werkelijke verbruik lager. De verhouding is $\frac{100}{\frac{52}{2,15}} = \frac{1,92}{2,15} = 0,89$.

Ook is de reductiefactor voor de werkelijke capaciteit die in de capaciteitsberekening in gevoerd is hier overgeslagen. Deze factor is 0,9.

De derde reductiefactor houdt rekening met wachttijdverliezen voor schepen, deze factor I_w/C_w is 0,85. Zo komt het waterverbruik en het energieverbruik op $0,89 \times 0,9 \times 0,85 = 0,7$ maal de berekende waarden. Dit effect wordt weer verminderd doordat de kolk of bak niet altijd maximaal gevuld zal zijn met schepen, waardoor minder efficiënte schuttingsen ontstaan, die echter wel de volledige hoeveelheden water en energie verbruiken.

Bij Panheel bestaat de opvaart, richting Zuid-Willemsvaart, voornamelijk uit geladen schepen en de afvaart bestaat voornamelijk uit ongeladen schepen. Dit veroorzaakt een extra verbruik van water bij alle schutmiddelen.

Dit waterverbruik is gelijk aan het verschil van het aantal vervoerde tonnen tussen de beide richtingen. Voor 1977 is dat in cijfers:

gepasseerde lading

afvaart, richting zuid 108.500 ton

opvaart, richting noord 2482.400 ton

verschil 2373.900 ton, ofwel evenveel kubieke meters water

omgerekend in m^3/s :

$$q = \frac{2373.900}{52 \times 92 \times 3600} = 0,14 \text{ m}^3/s.$$

Deze hoeveelheid is niet geheel verwaarloosbaar, en zal dan ook in een nauwkeurige berekening meegenomen moeten worden.

In de kostenberekening van de gemalen is om tot de totale kosten te komen dezelfde factor 2 gebruikt als bij de schutalternatieven. Deze factor 2 bevat echter een post van 25% voor onvoorzien en nadere detaillering, welke bij de gemalen door de andere berekeningsmethode niet van toepassing is. De installaties voor de gemalen kunnen als volledig beschouwd worden en de kosten voor het gebouw zijn afgeleid uit een gerealiseerd voorbeeld. De gemaalkosten zijn dus te hoog.

Bij het energieverbruik van de gemalen is gerekend met een maalperiode van een half jaar per jaar, namelijk alleen het droge seizoen. Een wijziging in deze zeer onnauwkeurige aanname heeft grote consequenties voor het totale energieverbruik, een nader onderzoek hiernaar is dan ook gewenst.

Een wat uitgebreidere berekening van de geïnstalleerde vermogens bij de aangedreven alternatieven is op zijn plaats. Dan moet gelet worden op de onderlinge verhouding van de geïnstalleerde vermogens. Er zijn minstens twee aspecten:

1. het heffen van onbalans heeft een directe relatie

met de verticale snelheid. Deze snelheden zijn:

langshelling	4,5	cm/s
dwarshelling	9	cm/s
lift	10	cm/s
pente d'eau	3,6	cm/s.

Deze verhoudingen zijn geheel anders dan die van de geïnstalleerde vermogens.

2. Het overwinnen van wrijving. De wrijvingskrachten zijn evenredig met de normaalkrachten.

TABELLEN EN FIGUREN

figuur 1	Totaal gepasseerd laadvermogen te Panheel	1
figuur 2	Vaarwegen Zuid-Oost Nederland	2
figuur 3	Laadvermogensklassen	4
figuur 4	Maatschepen	5
figuur 5	Het principe van de spaarbekkensluis	6
figuur 6	Ontwikkeling van \bar{T} te Panheel	12
tabel 1	Vervoerde goederen door sluis Panheel	13
figuur 7	Prognose totaal gepasseerd laadvermogen	16
figuur 8	Principe van het pente d'eau	20
tabel 2	Grenswaarden I_w/C_w	23
figuur 9	Het verband tussen de gemiddelde waarden van de breedte (\bar{b}) en de lengte (\bar{l}) van de schepen en het gemiddeld laadvermogen (\bar{T})	28
figuur 10	Het verband tussen \bar{t}_i van <u>geladen</u> schepen met eigen aandrijving en F voor verschillende waarden van \bar{T}	29
figuur 11	idem : \bar{t}_i ongeladen	30
figuur 12	idem : \bar{t}_u geladen	31
figuur 13	idem : \bar{t}_u ongeladen	32
figuur 14	Correctiegrafiek voor de gemiddelde lustijd (\bar{t}_l)	33
figuur 15	Maximum aantal schepen dat de sluis kolk kan bevatten (n_{\max}) als functie van het gemiddelde laadvermogen (\bar{T}) voor verschillende kolkafmetingen	34
figuur 16	idem : vervolg	35
tabel 3	Capaciteitsberekeningen	36
tabel 4	Vlootsamenstelling naar laadvermogensklassen voor $\bar{T} = 600$ ton	37
figuur 17	Langsprofiel bouwterrein	41
figuur 18	Profiel sluis kolk	43
figuur 19	Funderingsbalk langshelling	46
figuur 20	Doorsnede heftoren	50
figuur 21	Keermuur lift	52

figuur 22	Doorsnede pente d'eau	52
figuur 23	Watermoot pente d'eau	55
tabel 5	Waterverbruikberekeningen	56
tabel 6	Kostprijs installaties voor gemalen	59
tabel 7	Bouwkosten van de verschillende alternatieven	67
tabel 8	Bedrijfs- en onderhoudskosten	70

BRONVERMELDINGEN

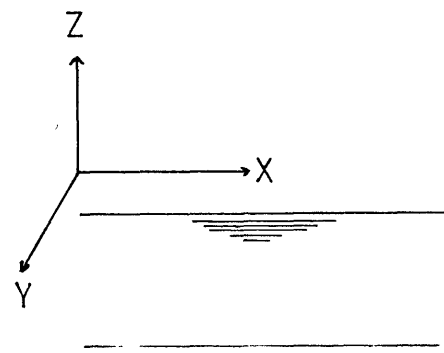
Hierna zijn de bronnen vermeld die geraadpleegd zijn bij het samenstellen van dit verslag. De nummers verwijzen naar de bladzijde(n) waarop de betreffende vermelding van toepassing is.

- 1 de gegevens voor gepasseerd laadvermogen komen uit lit.(4) en (6)
- 8 het historisch overzicht is grotendeels terug te vinden in lit. (6) en (8)
- 12 het aantal gepasseerde schepen komt ook uit lit. (4)
- 13 de tabel is samengesteld met lit. (4) en oudere uitgaven daarvan
- 14 veel informatie uit de ontwerp-Vaarwegennota, lit. (14)
- 16 over recreatievaart handelt de Vaarwegennota in hst. 9.3.5.
- 17 de berekening van Rijkswaterstaat staat in lit. (10)
- 21 / 36 de methode van de capaciteitsberekening en de gebruikte gegevens zijn ontleend aan lit. (7)
- 25,36 vul- en ledigingstijden van de spaarbekkensluis zijn
bijl.2 afgeleid uit lit.(13) blz.21
- 46 staalgewichten van diverse bakken staan o.m. in lit. (13) blz. 11
- 57 de gegevens over gemalen komen van Rijkswaterstaat, waar de kostprijs van eenemaal voor $20 \text{ m}^3/\text{s}$ voor ons uitgewerkt is
- 61 e.v. alle prijzen zijn, onder voorbehoud, gegeven door deskundigen van Rijkswaterstaat
- 71 voor het kontant maken van de kosten is informatie gebruikt uit lit. (17)

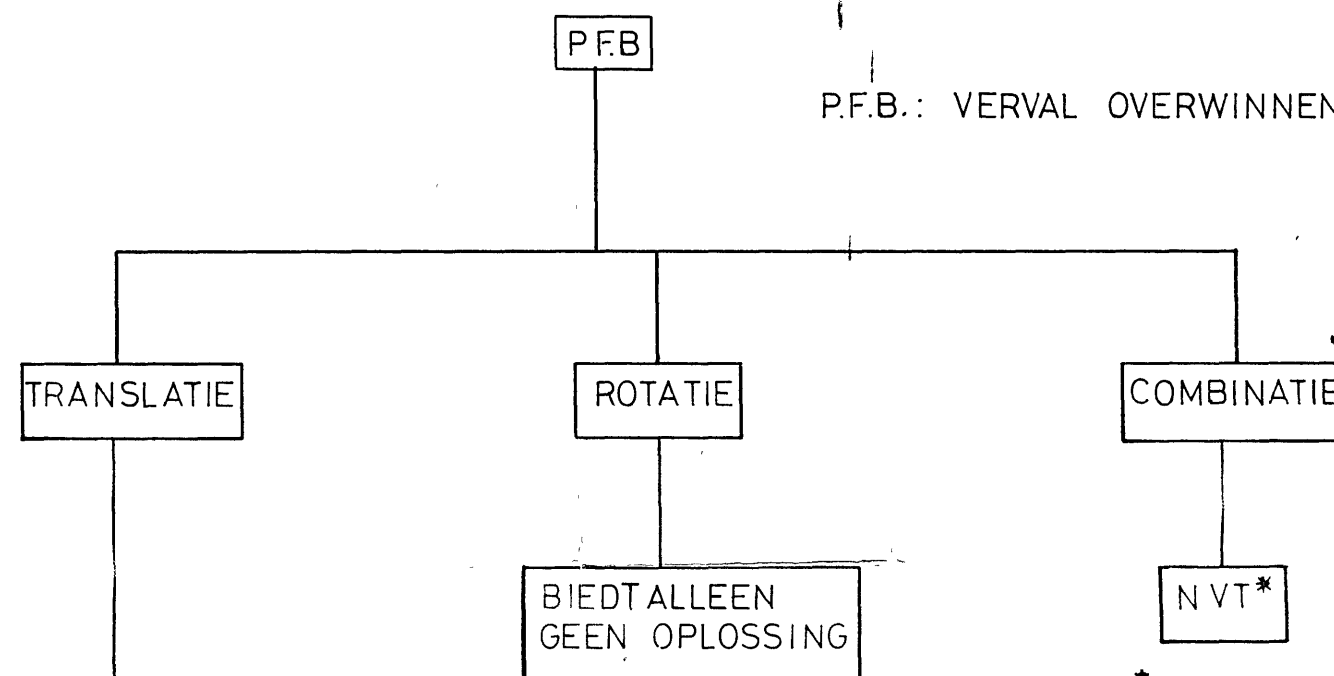
LITERATUUR

- (1) J. Aubert
Le prix des pentes d'eau
Revue de la Navigation, 1973, blz 291-296
- (2) P. Chaussin, M. Cancelloni
La pente d'eau de Montech
Revue de la Navigation, 1973, blz 297-305
- (3) CBS
Statistiek van het binnenlands goederenvervoer 1976
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1977, jaarlijkse
uitgave
- (4) CBS
Statistiek van de scheepvaartbeweging 1977
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1976, jaarlijkse
uitgave
- (5) Hydronamic
een vergelijking van sluizen, scheepslift, scheeps-
hellingen e.d. op toepasbaarheid
Sliedrecht, 1974
- (6) J. van der Kley
Vaarwegen in Nederland
Born, Assen 1967
- (7) C. Kooman
Verkeerswaterbouwkunde b.o. f13C (beknopt diktaat)
kollegediktaat, T.H. Delft 1977
- (8) K. Ooms, W. de Ruiter
Verbetering van de Zuid-Willemsvaart
afstudeerwerk, T.H. Delft 1975
- (9) RWS, directie Limburg
stencil, uitgegeven t.g.v. het 50-jarig bestaan
van de sluis te Panheel op 2 april 1978
- (10) RWS
Verbetering Brabantse en Midden-Limburgse kanalen,
Informatie, deel 1 en deel 2, t.b.v. kollege e5
T.H. Delft 1979
- (11) -
Pente d'eau Montech
De Ingenieur, 30 juni 1977 blz 518
- (12) -
Le plan incliné transversal d'Arzvillier - Saint-
Louis remplace 17 écluses
Revue de la Navigation, 1970, blz 443-503

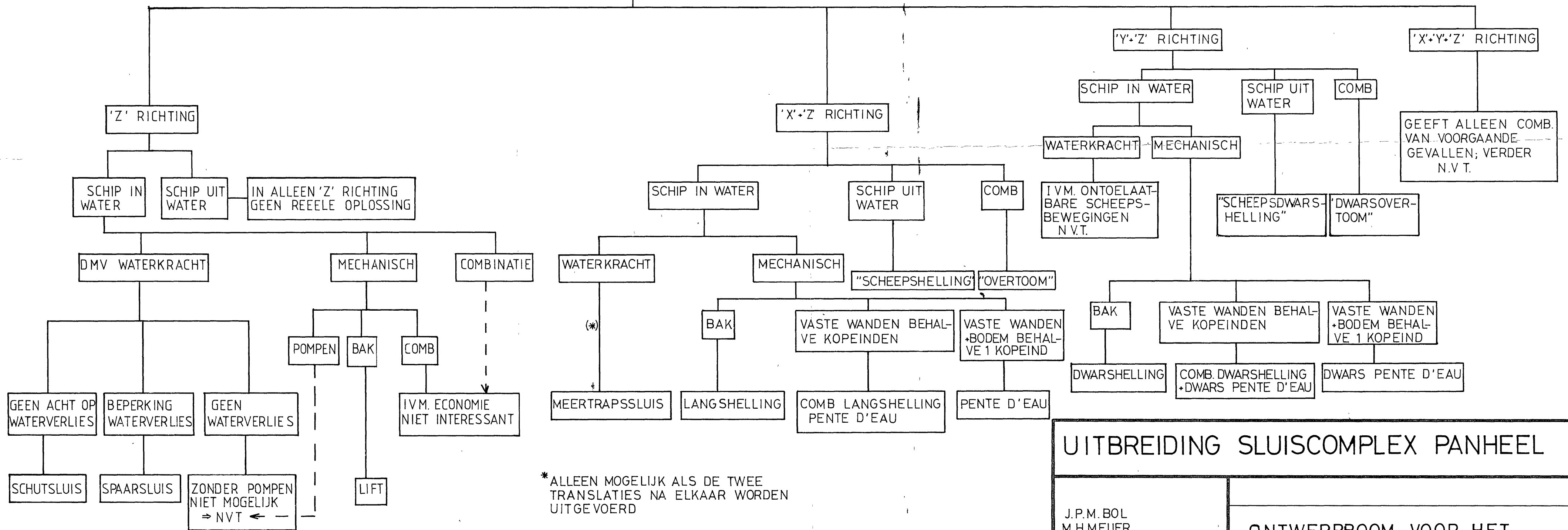
- (13) diverse auteurs
Structures for dealing with large differences in head
International Navigation Congress
Stockholm, 1965, section 1, subject 2
- (14) -
Vaarwegennota (ontwerp)
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1976
- (15) J. Illiger
Structures for dealing with large differences in head for the lateral canal of the Elbe in the German Federal Republic
AICPN, 1971, volume IV, blz. 23-45
- (16) R. Tenaud
Les ouvrages de franchissements des grandes chutes sur les voies navigables
Travaux, febr. 1972, blz. 3-12
- (17) F.J.M. de Mol, E.H. van de Poll, M. Schut
Projectevaluatie
economische evaluatie van civiel-technische projecten
collegedictaat, TH Delft, 1979
- (18) H. Simons
Über die Gestaltung von Schiffshebewerken
Mitteilungen des Franzius-Instituts der TH Hannover,
Heft 11/1957



P.F.B.: VERVAL OVERWINNEN VAN 8.10m



* VOEGT ALLEEN EEN EXTRA DRAAIING TOE AAN AL EERDER GEVONDEN OPLOSSINGEN ALLEEN AAN TE WENDEN INDIEN DE RUIMTE DIT VOORSCHRIJFT; HIER NIET VAN TOEPASSING



* ALLEEN MOGELIJK ALS DE TWEE TRANSLATIES NA ELKAAR WORDEN UITGEVOERD

UITBREIDING SLUISCOMPLEX PANHEEL

J.P.M. BOL M.H.MEIJER				ONTWERPBOOM VOOR HET OPSTELLEN VAN MOGELIJKE ALTERNATIEVEN	
get. : M.H.MEIJER		SEP '79			
gez. :				Schaal:	
gew. :				A2	
A		B		C	
D					

Bedieningstijden van de verschillende alternatieven

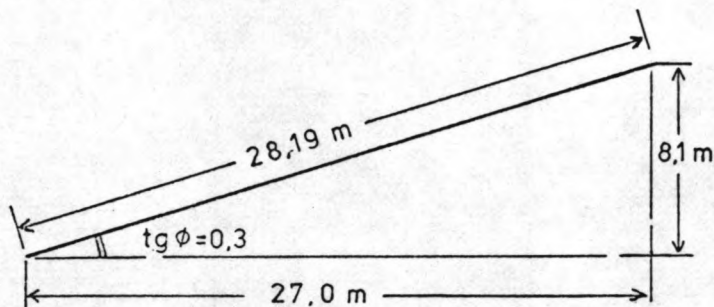
1. Dwarshelling

aannamen: $a = 0,005 \text{ m/s}^2$ gedurende 60 sec

daarna $v = 0,3 \text{ m/s}$

helling 30%

gegeven : verval $h = 8,1 \text{ m}$



dus te overbruggen lengte: 28,19 m.

$$0 - t - 60 : a = 0,005 \text{ m/s}^2$$

$$v = a \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$t = 60 \text{ sec: } v = 0,005 \times 60 = 0,3 \text{ m/s}$$

$$s = \frac{1}{2} \times 0,005 \times 60^2 = 9 \text{ m}$$

eis: einde beweging $s = 28,19 \text{ m}$

bij vertraging: $a = -0,005 \text{ m/s}^2$

$$v = 0,3 - 0,005 \times t$$

$$\text{dit geeft } t = 60 \text{ sec}$$

$$\text{in deze tijd afgelegd } s = 9 \text{ m}$$

begin vertraging bij $s = 19,2 \text{ m}$

tussen versnellen en vertragen eenparige snelheid

$$v = 0,3 \text{ m/s}$$

$$\text{af te leggen } s = 19,2 - 9,0 = 10,2 \text{ m}$$

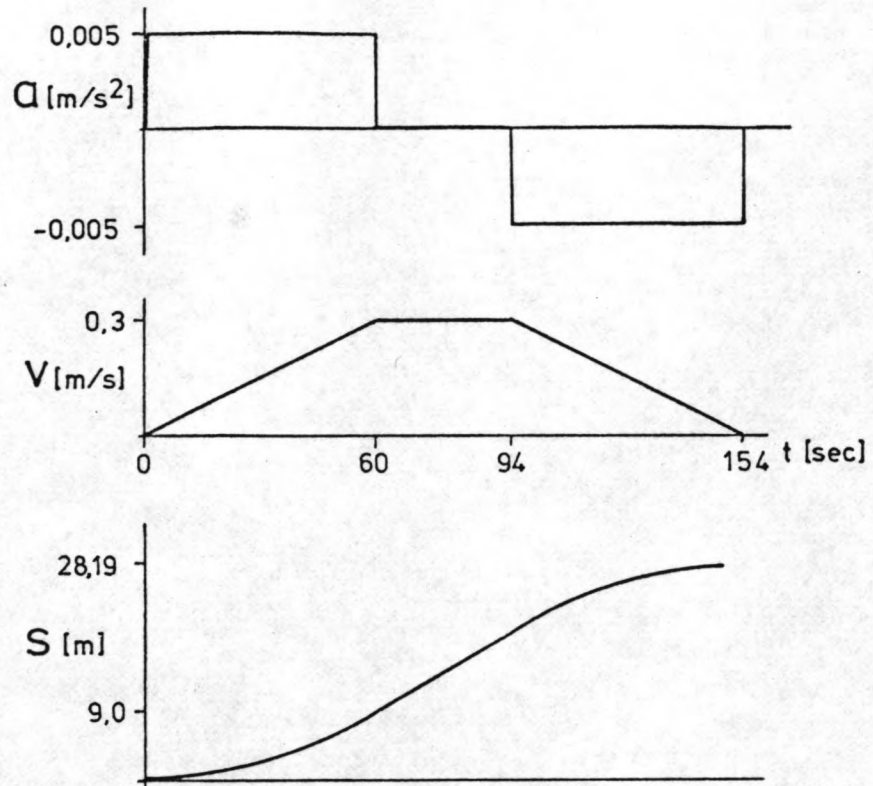
$$s = v_0 \times t : t = \frac{10,2}{0,3} = 34 \text{ sec}$$

zie de figuren op de volgende bladzijde.

Voor zowel het openen als het sluiten van de deuren is een tijd van 1,0 min aangehouden. Hiermee wordt de bedieningstijd:

$$T_b = \text{sluiten} + \text{verplaatsen} + \text{openen}$$

$$= 1,0 + 2,6 + 1,0 = 4,6 \text{ minuten}$$



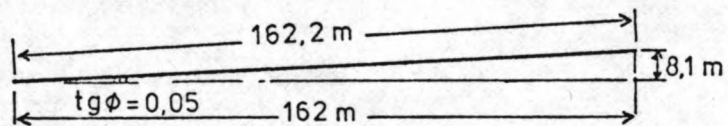
2. Langshelling

aannamen : $a = 0,005 \text{ m/s}^2$ gedurende 90 seconden, met lineair toe- en afnemende versnelling om schommelingen in lengterichting van het water in de bak te beperken.

$$v_{\text{max}} = 0,55 \text{ m/s}$$

helling 5%

gegeven : verval 8,1 m



gedurende 20 sec toenemende versnelling:

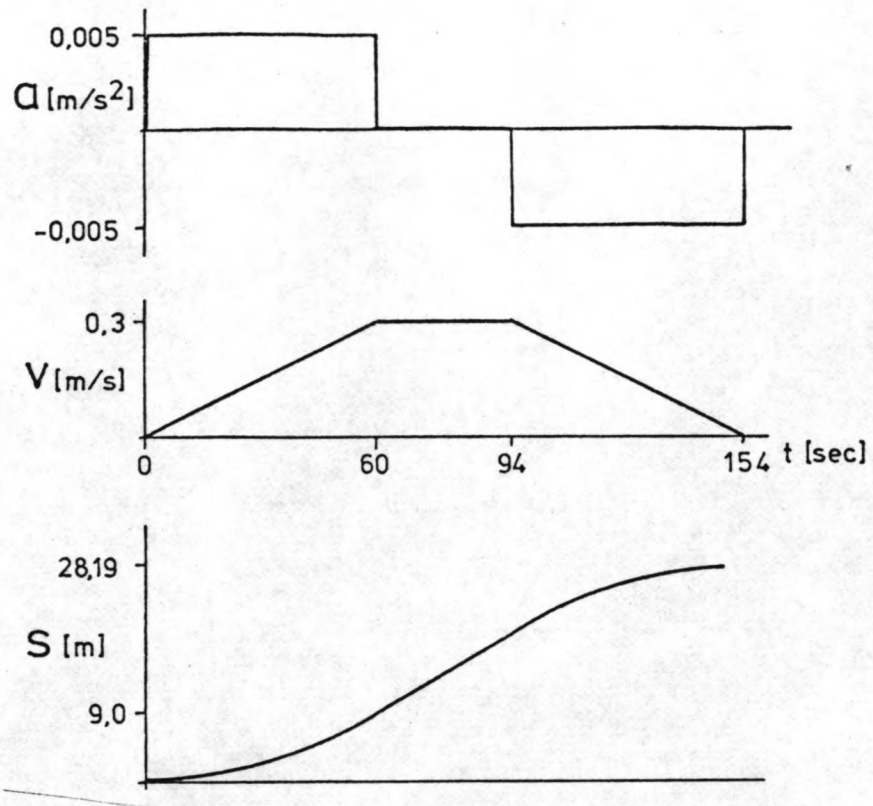
$$a = \frac{0,005}{20} t \text{ m/s}^2$$

$$v = \frac{0,005}{40} t^2 ; \quad s = \frac{0,005}{120} t^3$$

$$\text{voor } t = 20 \text{ sec: } a = 0,005 \text{ m/s}^2$$

$$v = 0,05 \text{ m/s}$$

$$s = 0,33 \text{ m}$$



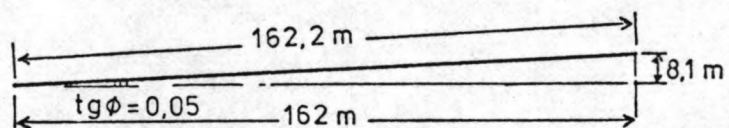
2. Langshelling

aannamen : $a = 0,005 \text{ m/s}^2$ gedurende 90 seconden, met lineair toe- en afnemende versnelling om schommelingen in lengterichting van het water in de bak te beperken.

$$v_{\text{max}} = 0,55 \text{ m/s}$$

helling 5%

gegeven : verval 8,1 m



gedurende 20 sec toenemende versnelling:

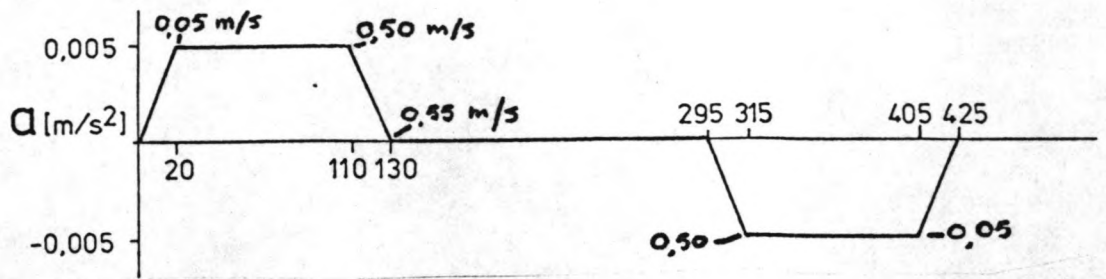
$$a = \frac{0,005}{20} t \text{ m/s}^2$$

$$v = \frac{0,005}{40} t^2 ; \quad s = \frac{0,005}{120} t^3$$

voor $t = 20 \text{ sec}$: $a = 0,005 \text{ m/s}^2$

$$v = 0,05 \text{ m/s}$$

$$s = 0,33 \text{ m}$$



gedurende 90 sec konstante versnelling

$$20 - t - 110 : v = 0,005 t + v_0 = 0,5 \text{ m/s}$$

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 = 25,08 \text{ m}$$

afnemende versnelling

$$110 - t - 130 : v = v_0 + 0,005 \cdot t - \frac{0,005}{40} t^2 = 0,55 \text{ m/s}$$

$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \times 0,005 \cdot t^2 - \frac{0,005}{120} t^3 = 35,75 \text{ m}$$

bij vertraging wordt eenzelfde traject afgelegd, met eenparige beweging dan af te leggen:

$$s = 162,20 - 2 \times 35,75 = 90,70 \text{ m}$$

$$\text{benodigde tijd } t = \frac{90,70}{0,55} = 164,9 \text{ sec}$$

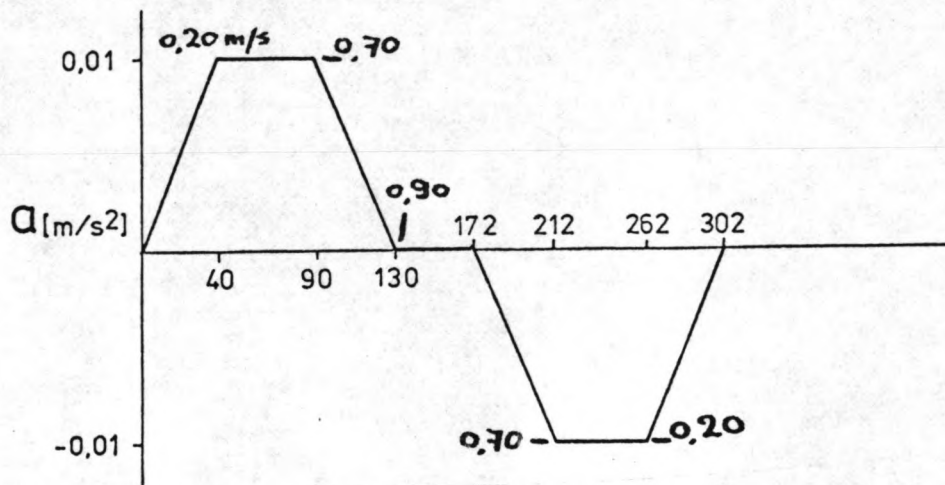
totaal benodigde tijd:

$$t = 2 \times 130 + 165 = 425 \text{ sec ofwel } 7,1 \text{ minuten}$$

De totale bedieningstijd:

$$T_b = 1,0 + 7,1 + 1,0 = 9,1 \text{ minuten}$$

Om een hogere capaciteit te bereiken is ook nog een variant doorerekend met een ander versnellings- en vertragingdiagram.



De berekening van het tijd-snelheidsdiagram en het tijd-wegdiagram verlopen geheel analoog aan het voor-

gaande. De tijd nodig voor het verplaatsen van de bak bedraagt nu 5,0 min.

$$T_b = 1,0 + 5,0 + 1,0 = 7,0 \text{ minuten.}$$

3. Lift

aannamen : $a = 0,005 \text{ m/s}^2$ gedurende 20 sec

$$v_{\text{max}} = 0,1 \text{ m/s}$$

bewegingsrichting: verticaal

gegeven : verval 8,1 m

constante versnelling gedurende 20 sec

$$0 - t - 20 : a = 0,005 \text{ m/s}^2$$

$$v = 0,005 \times t$$

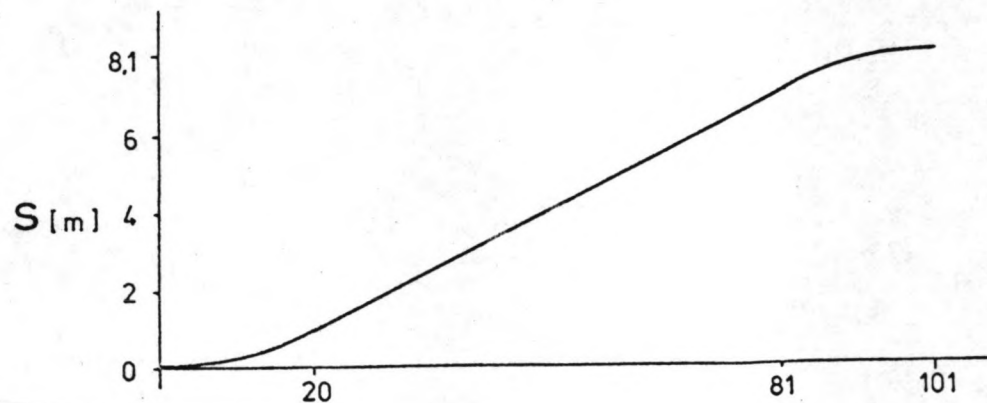
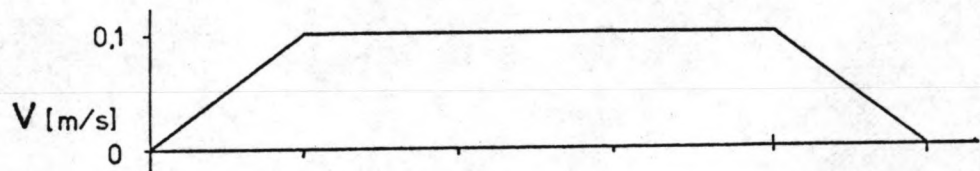
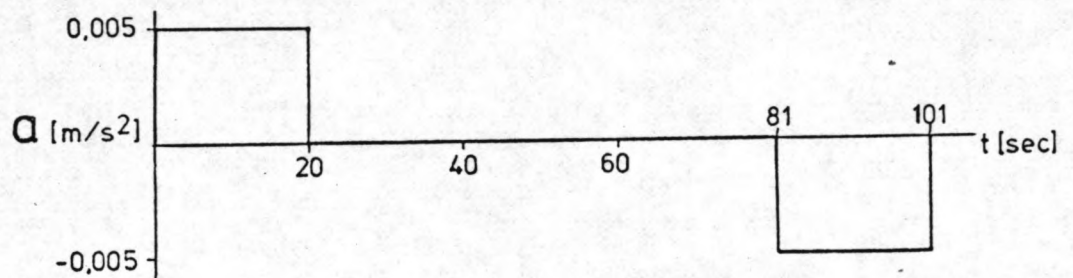
$$s = \frac{1}{2} \times 0,005 \times t^2$$

$$\text{voor } t = 20 \text{ sec} : v = 0,10 \text{ m/s}$$

$$s = 1,0 \text{ m}$$

Bij vertraging wordt dezelfde afstand afgelegd, dus in totaal 2,0 m. Nog te overbruggen $8,1 - 2,0 = 6,1 \text{ m}$.

$$t = \frac{6,1}{0,1} = 61 \text{ sec}$$



De totale verplaatsingstijd $20 + 61 + 20 = 101$ sec

$$T_b = 1,0 + 1,7 + 1,0 = 3,7 \text{ minuten}$$

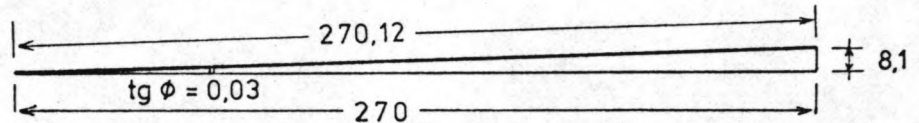
4. Pente d'eau

aannamen : $a_{\max} = 0,01 \text{ m/s}^2$, met geleidelijke toe- en afnemering

$$v_{\max} = 1,3 \text{ m/s}$$

helling 3%

gegeven : verval 8,1 m



gedurende 30 sec toenemende versnelling

$$a = \frac{0,01}{30} \times t$$

$$v = \frac{1}{2} \times \frac{0,01}{30} \times t^2$$

$$s = \frac{1}{6} \times \frac{0,01}{30} \times t^3$$

voor $t = 30$ sec : $a = 0,01 \text{ m/s}^2$

$$v = 0,15 \text{ m/s}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

gedurende 100 sec constante versnelling

30 - t - 130 : $v = 0,15 + 0,01 \times t$

$$s = 1,5 + 0,15 \times t + \frac{1}{2} \times 0,01 \times t^2$$

voor $t = 130$ sec dus : $v = 1,15 \text{ m/s}$

$$s = 66,5 \text{ m}$$

gedurende 30 sec afnemende versnelling

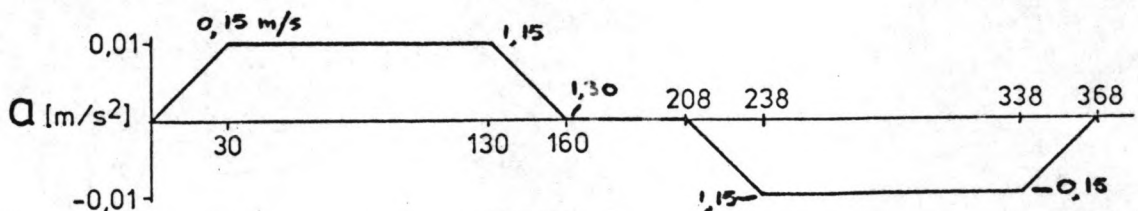
130 - t - 160 : $a = 0,01 - \frac{0,01}{30} \times t$

$$v = 1,15 + 0,01 \times t - \frac{1}{2} \times \frac{0,01}{30} \times t^2$$

$$s = 66,5 + 1,15 \times t + 0,005 \times t^2 - \frac{0,01}{180} \times t^3$$

voor $t = 160$ sec : $v = 1,3 \text{ m/s}$

$$s = 104 \text{ m}$$



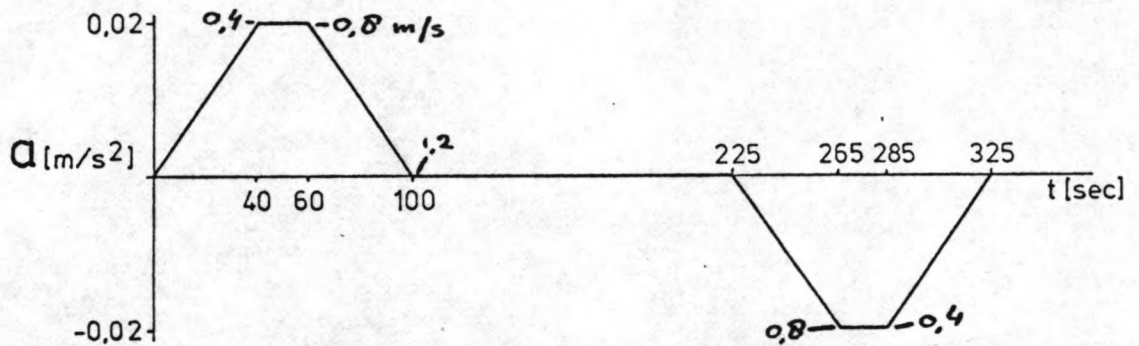
Bij vertraging wordt weer dezelfde afstand afgelegd, dus totaal 208 meter. Dus nog met eenparige snelheid af te leggen $270,12 - 208 = 62,12$ m

benodigde tijd hiervoor : $t = \frac{62,12}{1,3} = 48$ sec

Totaal benodigde tijd $2 \times 160 + 48 = 368$ seconden, of 6,1 minuten.

$T_b = 1,0 + 6,1 + 1,0 = 8,1$ minuten.

Om een grotere capaciteit te krijgen is ook een sneller pente d'eau doorgerekend met onderstaand versnellingsdiagram.



De berekening verloopt weer geheel analoog aan het voorgaande. De totale bedieningstijd bedraagt in dit geval $T_b = 1,0 + 5,4 + 1,0 = 7,4$ minuten.

5. Spaarsluis

Bij dit type sluis zijn we uitgegaan van 3 spaarkommen. Uit literatuur zijn enige waarden voor tijden van vullen en ledigen van deze soort sluis gevonden.

Aangenomen is dat een tijd van 11 minuten voor het vullen en 12 minuten voor het ledigen haalbaar is.

Hiermee wordt de bedieningstijd:

bij opvaart:	bij afvaart:
sluiten deuren: 1,6 min	: 1,6 min
vullen: 11,0 min	ledigen: 12,0 min
openen deuren: <u>1,1</u> min	: <u>1,1</u> min
Totaal: $T_b = 13,7$ min	$T_b = 14,7$ min

6. Schutsluis

Uit waarnemingen in Nederland bij vergelijkbare sluisen bleek dat in dit geval gekozen kan worden voor $T_b = 10,2$ minuten voor het ledigen en $T_b = 9,4$ minuten voor het vullen, bij sluisafmetingen van $85 \times 12 \times 3,5 \text{ m}^3$.

Grondverzet voor de diverse alternatieven

1. Schutsluis 142 x 16 x 3,5

Aangenomen buitenafmetingen 175 x 21 m

bodem op 20,40 - 6,50 = 14,00 + n.a.p.

ligging op de lengteas: 2,725 - 2,900

De ligging wordt bepaald door de weg over het benedenhoofd.

Ontgraving:

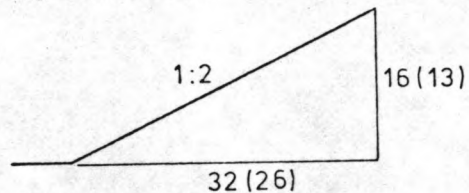
volume van de constructie zelf:

$175 \times \frac{1}{2} (13 + 16) = 2538 \text{ m}^2$ is de oppervlakte van een lengteprofiel

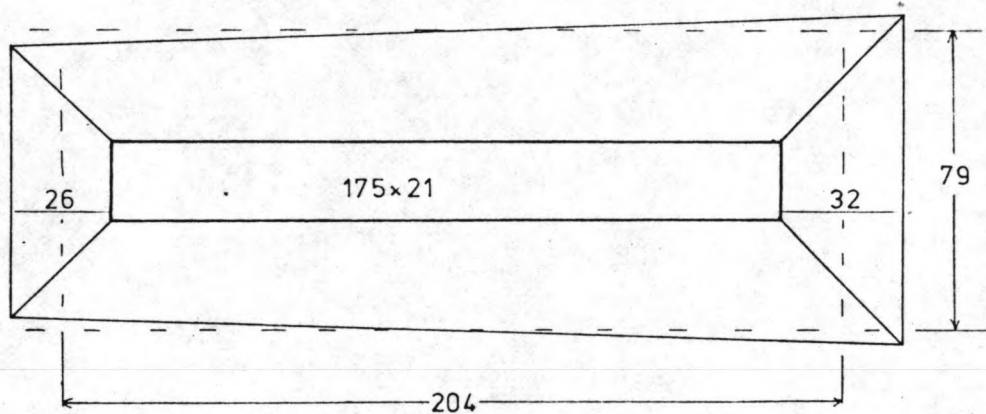
$b = 21 \text{ m} : 21 \times 2538 = 53.300 \text{ m}^3$

extra voor de bouwput:

met een helling van 1 : 2



berekening over de omtrek:



$$2 \times 204 \times \frac{1}{2} (13 + 16) \times 14,5 + 79 \times (13^2 + 16^2) = 122.600 \text{ m}^3$$

totaal ongeveer 176.000 m³

aanvulling : weer aanvullen $176.000 - 175 \times 21 \times 16 = 117.000 \text{ m}^3$.

2. Spaarbekkensluis 142 x 16 x 3,5

Bij uitvoering met open spaarbekkens wordt aangenomen dat het volume van de constructie om een tweemaal zo grote ontgraving vraagt als bij een normale schutsluis. Dit is : $2 \times 53.000 = 106.000 \text{ m}^3$.

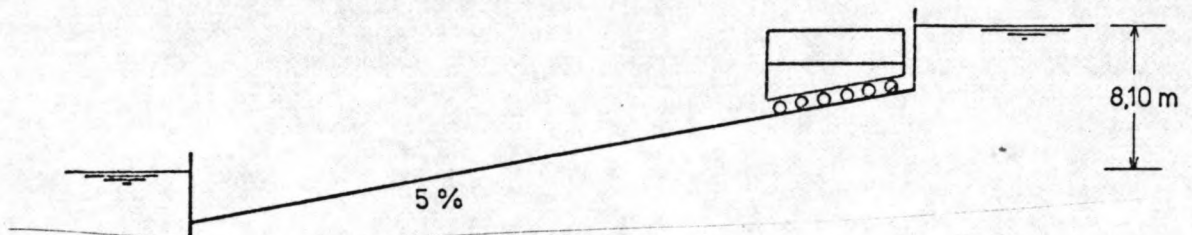
De ontgravingen en aanvullingen van de bouwput worden gereduceerd door de aanwezigheid van de spaarbekkens, die bijvoorbeeld aan één zijde direct naast de sluis gebouwd kunnen worden. We nemen aan dat deze grondverplaatsingen tot $2/3$ gereduceerd worden.

ontgraving totaal : 188.400 m^3

aanvulling totaal : 78.000 m^3

3. Langshelling 110 x 12 x 3,5

Voorlopig wordt geen rekening gehouden met extra voorzieningen benodigd voor het overwinnen van niveauvariaties.



De weglengte bedraagt $\frac{8,1}{0,05} = 162 \text{ m}$.

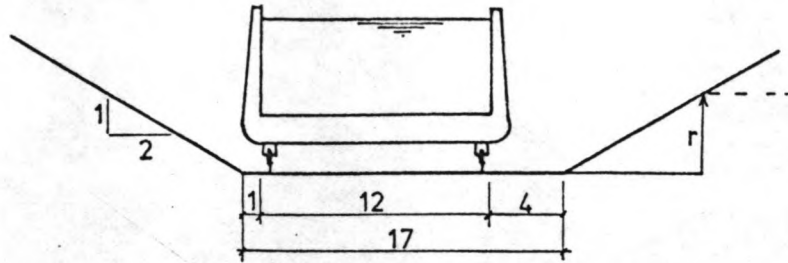
De baanlengte is nog een baklengte langer, dus bedraagt $162 + 115 = 277 \text{ m}$.

Het hoogste punt van de baanonderzijde stellen we op 3 m onder de bodem van de bak, in verband met de contragewichten. Dit punt ligt dus op $28,40 - 3,5 - 3,0 = 22,00 + \text{n.a.p.}$

Dientengevolge ligt het laagste punt op $22,00 - 277 \times 0,05 = 8,20 + \text{n.a.p.}$

Een minimale ontgraving wordt bereikt als het hoogste punt van de helling voor km 2,600 wordt gelegd.

Het aangenomen dwarsprofiel ziet eruit zoals op de figuur boven aan de volgende bladzijde.



Het oppervlak van het dwarsprofiel bedraagt dan, uitgedrukt in r ten opzichte van de onderzijde van de baan :

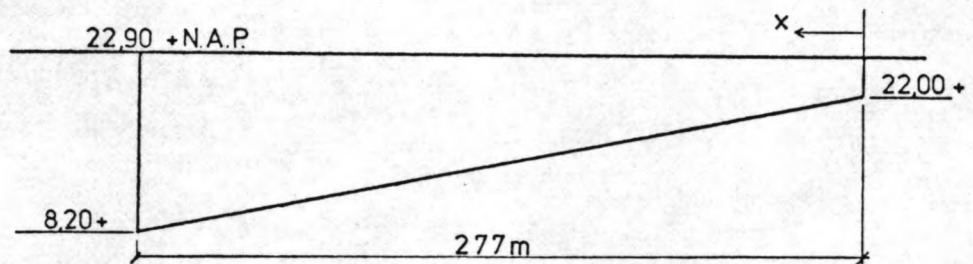
$$O = 17 \times r + 2 r^2$$

in lengterichting geldt :

$$\text{voor } x = 0 : r = 0,9 \text{ m}$$

$$x = 277 : r = 14,7 \text{ m}$$

$$\text{dus } r = 0,9 + 0,05 x$$



het oppervlak van een dwarsprofiel op afstand x :

$$\begin{aligned} O(x) &= (17 (0,9 + 0,05 x) + 2 (0,9 + 0,05 x)^2) \\ &= (15,3 + 0,85 x + 1,62 + 0,18 x + 0,005 x^2) \\ &= (16,92 + 1,03 x + 0,005 x^2) \end{aligned}$$

het totale volume is :

$$\begin{aligned} V_{\text{totaal}} &= \int_0^{277} O(x) dx = \int_0^{277} (16,92 + 1,03 x + 0,005 x^2) dx \\ &= (16,92 x + 0,52 x^2 + 0,0017 x^3) \Big|_0^{277} \\ &= 79.625 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Hierbij komt nog een bedrag voor de kelder voor aandrijfwerktuigen en bij deze ligging zal er een aquaduct gebouwd moeten worden. In verband met dit laatste lijkt het zinnig de constructie in de aanwezige helling te plaatsen, stel van km 2,600 - 2,875. De bovenstaande berekening kan dan weer uitgevoerd worden, met:

$$x = 0 : r = 29,7 - 22,0 = 7,7$$

$$x = 277 : r = 22,9 - 8,2 = 14,7$$

$$\text{geeft: } r = 7,7 + \frac{7}{277} x$$

Nu geldt dus:

$$\begin{aligned} O(x) dx &= \left(17 \left(7,7 + \frac{7}{277} x \right) + 2 \left(7,7 + \frac{7}{277} x \right)^2 \right) dx \\ &= (249,5 + 1,21 x + 0,0013 x^2) dx \\ V_{\text{totaal}} &= \int_0^{277} O(x) dx = \int_0^{277} (249,5 + 1,21 x + 0,0013 x^2) dx \\ &= 124.743 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume van de kelder voor aandrijfwerktuigen :

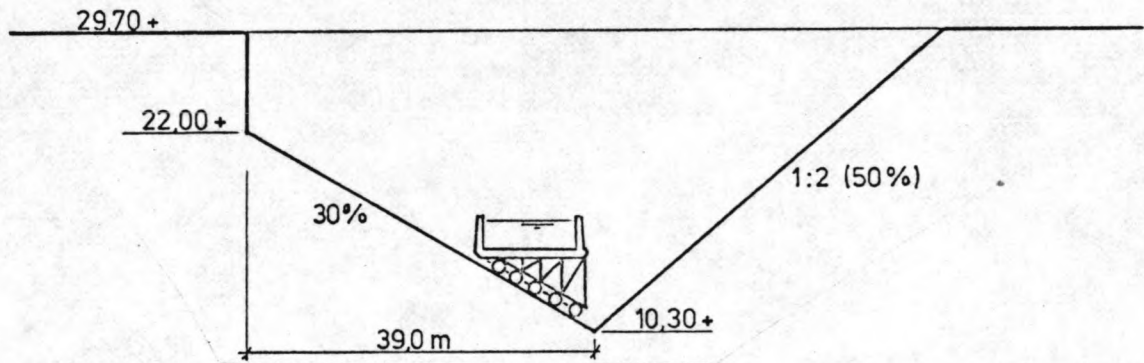
Stel $b = 16 \text{ m}$; $h = 7 \text{ m}$; $l = 20 \text{ m}$; dan $V = 2240 \text{ m}^3$

dus totale ontgraving ongeveer 127.000 m^3 .

4. Dwarshelling 85 x 12 x 3,5

Ook hier wordt voorlopig geen rekening gehouden met eventueel benodigde extra voorzieningen voor het overwinnen van niveauvariaties in het benedenpand.

Voor de berekening van de baan geldt het onderstaande:



Het hoogste punt van de baanonderzijde wordt weer gesteld op 3 m onder de bakbodem:

$$28,50 - 3,5 - 3,0 = 22,00 + \text{n.a.p.}$$

laagste punt:

$$22,0 - 8,1 - 12 \times 0,30 = 10,30 + \text{n.a.p.}$$

De oppervlakte van het dwarsprofiel bedraagt nu:

$$7,7 \times 39,0 + \frac{1}{2} \times 39,0 \times 11,7 + (19,4)^2 = 904,8 \text{ m}^2$$

Bij een aangenomen lengte van 100 m geeft dit een volume van ongeveer 90.500 m^3 . Hierbij komt nog een machineruimte van circa 2250 m^3 .

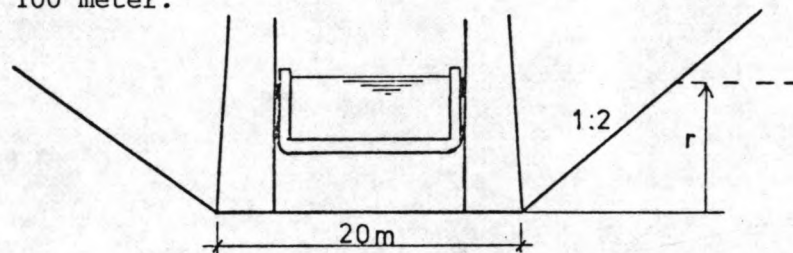
Totaal volume : 93.000 m^3

5. Lift 85 x 12 x 3,5

Als ligging wordt voorlopig het gedeelte 2,750 - 2,850 aangehouden, aansluitend op het hoge terrein.

Verder gaan we ervan uit dat de lift van het type 'heftorens met contragewichten' wordt. Onder de bak komen geen uitgebreide constructies. Dit geeft voor de bodemhoogte : $20,40 - 3,50 - 2,0 = 15,00 + \text{n.a.p.}$

De ontgravingen gebeuren weer met hellingen 1 : 2, de bodembreedte wordt geschat op 20 m en de lengte op circa 100 meter.



Verder dient nog opgemerkt te worden dat aan de kant van het hoge pand gedacht wordt aan een verticale wand, waardoor geen extra ontgravingen worden veroorzaakt.

Voor het oppervlak van het dwarsprofiel geldt nu :

$$O(x) = 20 r(x) + 2 r(x)^2$$

$$x = 0 : r = 12,3$$

$$x = 100 : r = 14,7$$

$$\text{geeft : } r = 12,3 + \frac{2,4}{100} x$$

$$O(x) dx = (20(12,3 + \frac{2,4}{100} x) + 2 (12,3 + \frac{2,4}{100} x)^2) dx$$

$$= (548,6 + 1,66 x + 0,0012 x^2) dx$$

$$V_{\text{totaal}} = \int_0^{100} (548,6 + 1,66 x + 0,0012 x^2) dx$$

$$= 63.560 \text{ m}^3$$

6. Pente d'eau 85 x 14

aanname : helling van de baan 3%

De weglengte bedraagt $\frac{8,1}{0,03} = 270 \text{ m}$, dus voor de baanlengte geldt : $270 + 90 = 360 \text{ m}$

De bodemhoogte wordt bepaald met behulp van het gegeven

dat op 90 m van de benedenkant van de baan de waterdiepte 3,0 m moet bedragen. We nemen voor de constructiehoogte van de vloer 1,0 m aan, dus het hoogste punt van de onderkant van de bodem ligt op

$$28,50 - 3,0 - 1,0 = 24,50 + \text{n.a.p.}$$

Het laagste punt ligt dan op $24,5 - 8,1 - 90 \times 0,03 = 13,70 \text{ m} + \text{n.a.p.}$

De helling van het pente d'eau komt vrijwel overeen met de terreinhelling welke over circa 250 m aanwezig is. Een inpassing hierin geeft echter een slechte oplossing voor het wegverkeer.

Een goede inpassing in het terrein wordt als volgt bepaald. De hoogte van de rand van de goot moet minimaal $3,0 + 2,7 \text{ m}$ bedragen. In de praktijk zal deze hoger zijn. Gesteld wordt dat deze overhoogte van de constructie boven het maaiveld uit zal steken.

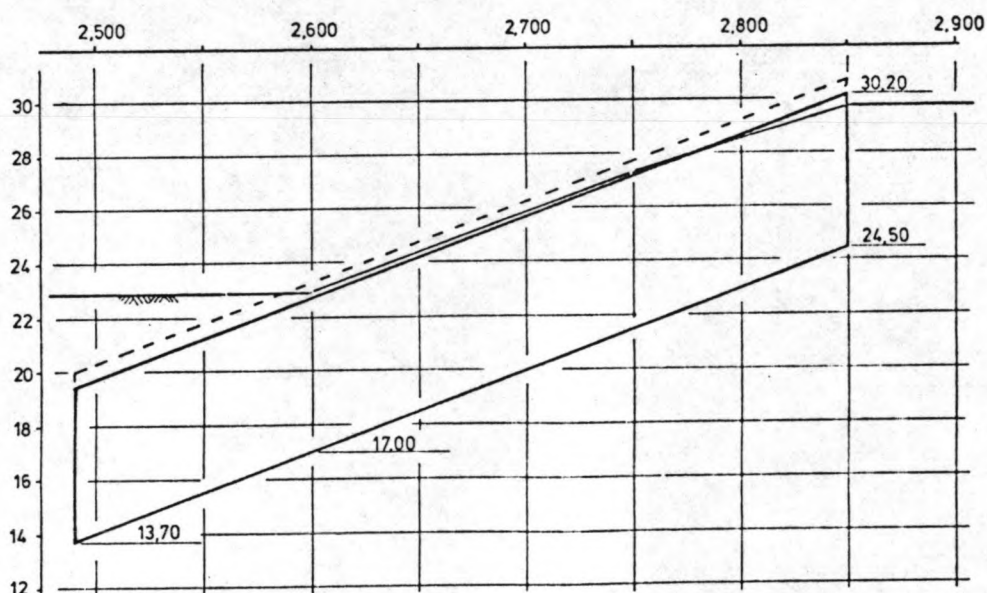
Op km 2,600 leggen we de bodemconstructie op

$$22,90 - 5,7 = 17,2 \text{ m} + \text{n.a.p.}$$

Het andere mogelijke startpunt is km 2,850 met een bodemhoogte

$$29,70 - 5,7 = 24,0 \text{ m} + \text{n.a.p.}$$

Wij kiezen voor een ligging waarbij het hoogste punt van de bodem, bij km 2,850, ligt op $24,5 + \text{n.a.p.}$ De ingraving is hier dan 5,2 m. Bij km 2,600 geeft dit een ingraving van 5,9 m, bij km 2,490 is de ingraving 9,2 m.



In de helling geeft dit een ontgraving van

$$5,6 \times 17 \times 250 = 23.800 \text{ m}^3.$$

Voor de bouwput geeft dit een ontgraving en aanvulling

$$\text{van } (5,6 \times 2 + (5,6)^2 \times 2) \times 250 = 18.500 \text{ m}^3.$$

In de vlakke bodem wordt de ontgraving

$$O(x) = 19 r(x) + 2 r(x)^2$$

verder geldt : $x = 0 : r = 5,9$

$$x = 110 : r = 9,2$$

$$r = 5,9 + \frac{3,3}{110} x$$

$$\begin{aligned} \text{dus: } O(x) dx &= (19 (5,9 + \frac{3,3}{110} x) + 2 (5,9 + \frac{3,3}{110} x)^2) dx \\ &= (181,7 + 1,28 x + 0,0018 x^2) dx \end{aligned}$$

$$V_{\text{totaal}} = \int_0^{110} O(x) dx = 28530 \text{ m}^3$$

Het deel dat niet meer aangevuld wordt is

$$5,9 \times 17 \times 110 = 11033 \text{ m}^3, \text{ plus}$$

$$17 r + 2 r^2 \text{ met: } x = 0 : r = 5,9 - 5,7 = 0,2$$

$$x = 110 : r = 9,2 - 5,7 = 3,5$$

$$r = 0,2 + \frac{3,3}{110} x$$

$$\begin{aligned} O(x) dx &= (17 (0,2 + \frac{3,3}{110} x) + 2 (0,2 + \frac{3,3}{110} x)^2) dx \\ &= (3,5 + 0,53 x + 0,0018 x^2) dx \end{aligned}$$

$$V = \int_0^{110} O(x) dx = 4390 \text{ m}^3$$

Niet meer aanvullen dus $11033 + 4390 = 15423 \text{ m}^3$

Weer aanvullen dan $28530 - 15423 = 13.100 \text{ m}^3$.

Voor het totaal geeft dit

$$\text{ontgraven : } 23.800 + 18.500 + 28.530 = 70.800 \text{ m}^3$$

$$\text{aanvullen : } 18.500 + 13.100 = 31.600 \text{ m}^3.$$

SAMENVATTING

In 1826 werd na een lange voorgeschiedenis de Zuid-Willemsvaart geopend als scheepvaartverbinding tussen Maastricht en 's-Hertogenbosch. Deze vaarweg maakte voor het eerst regelmatig scheepvaartverkeer mogelijk, de Maas was vaak onbevaarbaar. Honderd jaar later was hieraan het kanaal Wessem-Nederweert toegevoegd, in 1926, waardoor de scheepvaartverbinding verbeterd werd, terwijl tevens via het Julianakanaal een scheepvaartweg naar Zuid-Limburg ontstond die geheel over Nederlands grondgebied liep.

In het kanaal Wessem-Nederweert werd bij Panheel een schutsluis gebouwd met een verval van 8,1 meter. Deze sluis was als enige in Nederland uitgerust met spaarbekken om het verbruik van water te beperken.

Deze sluis nu is versleten en te klein voor de huidige scheepvaart. Er moet dus een uitbreiding komen. Een extra gegeven hierbij is dat zo min mogelijk water verbruikt moet worden, in feite moet al het verbruikte water teruggepompt worden. Daarnaast is er een waterbehoefte van het hoge pand, voor bevoeding in de Peel. Voor deze waterbehoefte werden door Rijkswaterstaat, directie Limburg, twee waarden gegeven, 5 of 15 m³/s gerekend over 24 uur, waarvoor eenemaal moet worden gebouwd. Deze gegevens vormen de basis voor een studie naar alternatieven voor een schutsluis.

Allereerst is een prognose opgesteld voor het totaal gepasseerd laadvermogen. Er zijn uiteindelijk twee effecten meegenomen:

1. het doortrekken van de groei vanaf 1960, hetgeen uitkomt op 9,8 miljoen ton per jaar in 1985,
2. de verandering in modal split, die 6 miljoen ton per jaar oplevert.

Onze prognose komt uit op 15,8 miljoen ton per jaar in 1990, wat we als eindwaarde hebben aangenomen.

Met een ontwerpboom zijn zoveel mogelijk principe-oplossingen bepaald, in totaal 14 stuks waarvan er zes als relevant aangemerkt kunnen worden:

1. schutsluis
2. spaarbekkensluis
3. langshelling
4. dwarshelling
5. lift
6. pente d'eau.

Deze zes alternatieven worden verder met elkaar vergeleken, waarvoor ze eerst in capaciteit gelijk gemaakt worden.

Dat gebeurt met een methode voor capaciteitsberekening die is aangegeven door ir C. Kooman. Tijdens deze berekeningen wordt een keuze gemaakt voor een dimensionering op volledige vervanging van de oude sluis, om vergelijkbare alternatieven te kunnen uitwerken.

De vergelijking van de zes alternatieven gebeurt op tamelijk technische gronden, door een benaderende kostenberekening te maken.

Aan elk van de alternatieven wordt een gemaal gekoppeld met zodanige capaciteit dat het verbruikte water wordt teruggepompt en daarnaast een debiet wordt geleverd van $15 \text{ m}^3/\text{s}$ gedurende 16 uur per dag.

De kosten worden nu berekend na een globaal ontwerp. Voor de gemalen werden de installaties tamelijk nauwkeurig opgezet, met hulp van een deskundige. Het civiele deel van de gemalen wordt afgeleid uit een vergelijkbaar gemaal wat in Maasbracht gebouwd is. Hiermee zijn de bouwkosten van de gemalen bekend.

De bouwkosten van de schutalternatieven worden berekend door het invullen van eenheidsprijzen voor de te gebruiken materiaalhoeveelheden. Deze hoeveelheden worden afgeleid uit het globaal opgezette ontwerp. De gebruikte prijzen zijn, vrijblijvend, opgegeven door enkele deskundigen.

SAMENVATTING - 3 -

Een overzicht van de gebruikte prijzen; 1 januari 1980:

sluisdeuren, inclusief bewegingswerken

puntdeuren	12.500,- /m ²
hefdeur	25.000,- /m ²

staal

3,50 - 8,- per kilo
bewegingswerken 12,- per kilo

grondverzet 4,60 per m³

betonwerk

beton levering	85,- /m ³
verwerking	16,- /m ³
materieel	10,- /m ³
	<u>111,- /m³</u>

wapening (80 kg/m ³) levering	0,80 /kg
verwerking	0,44 - 0,55 /kg
	<u>1,24 - 1,35 /kg</u>

bekisting

bekisting 1,75 - 2,5 manuur/m ² à 32,- :	56,- - 80,- /m ²
materiaal	20,- - 30,- /m ²
	<u>76,- - 110,- /m²</u>

De zo bepaalde kosten zijn netto, om tot bruto kosten te komen wordt vermenigvuldigd met een factor 2, die is opgebouwd uit diverse toeslagen, met B.T.W. als laatste.

Vervolgens worden de bedrijfskosten bepaald, opgesplitst in verschillende delen:

- vervanging elektrische en mechanische delen
- energiegebruik
- personeel
- onderhoud.

De totale, vergelijkbare, kosten worden bepaald door de contante waarde op 1 januari 1980 te bepalen van het totaal van te verwachten kosten over de gehele levensduur. Als levensduur wordt 50 jaar aangenomen. Het kontant maken gebeurt twee maal, de eerste maal met een discontovoet van 7%, waaraan alle prijsstijgingen gelijk gesteld worden. De tweede maal verschilt van de eerste alleen doordat nu voor de post energie een prijsstijging van 10% wordt aangenomen in plaats van 7%.

Het resultaat van deze laatste berekening is een onderlinge vergelijking van de zes alternatieven, inclusief het bijbehorende gemaal, in totale kosten:

schutsluis	108 %
spaarbekkensluis	100 %
langshelling	134 %
dwarshelling	111 %
lift	104 %
pente d'eau	131 %

Doordat de berekeningen globaal zijn, zijn deze resultaten slechts een indicatie, waaruit geconcludeerd kan worden dat langshelling en pente d'eau er ongunstig af komen, de overige vier alternatieven zijn ongeveer gelijkwaardig.

