

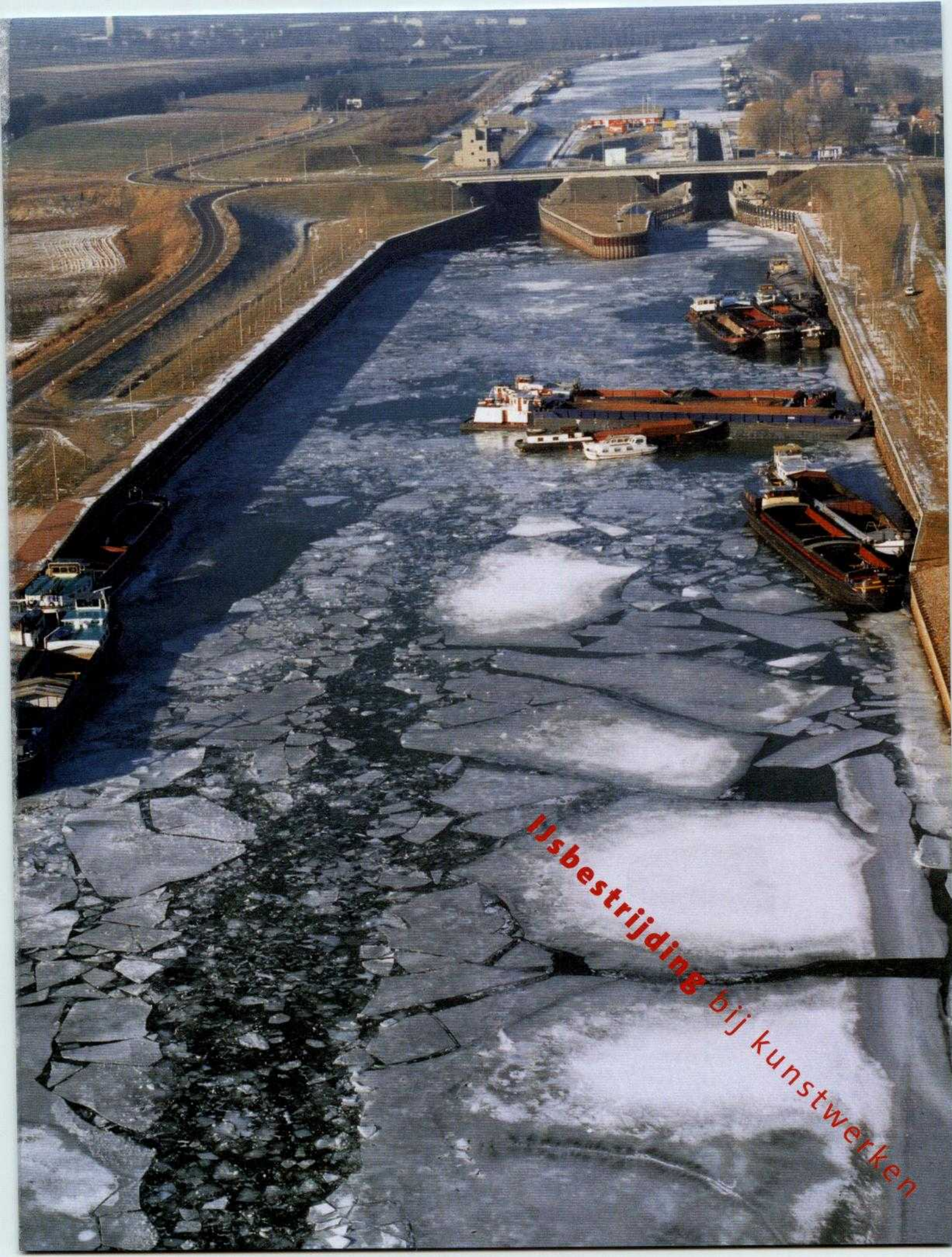
ing. L.J. Vankan

ijsbestrijding bij kunstwerken

Voorkomen en bestrijden van vorstproblemen

3200





IJsbestrijding bij kunstwerken

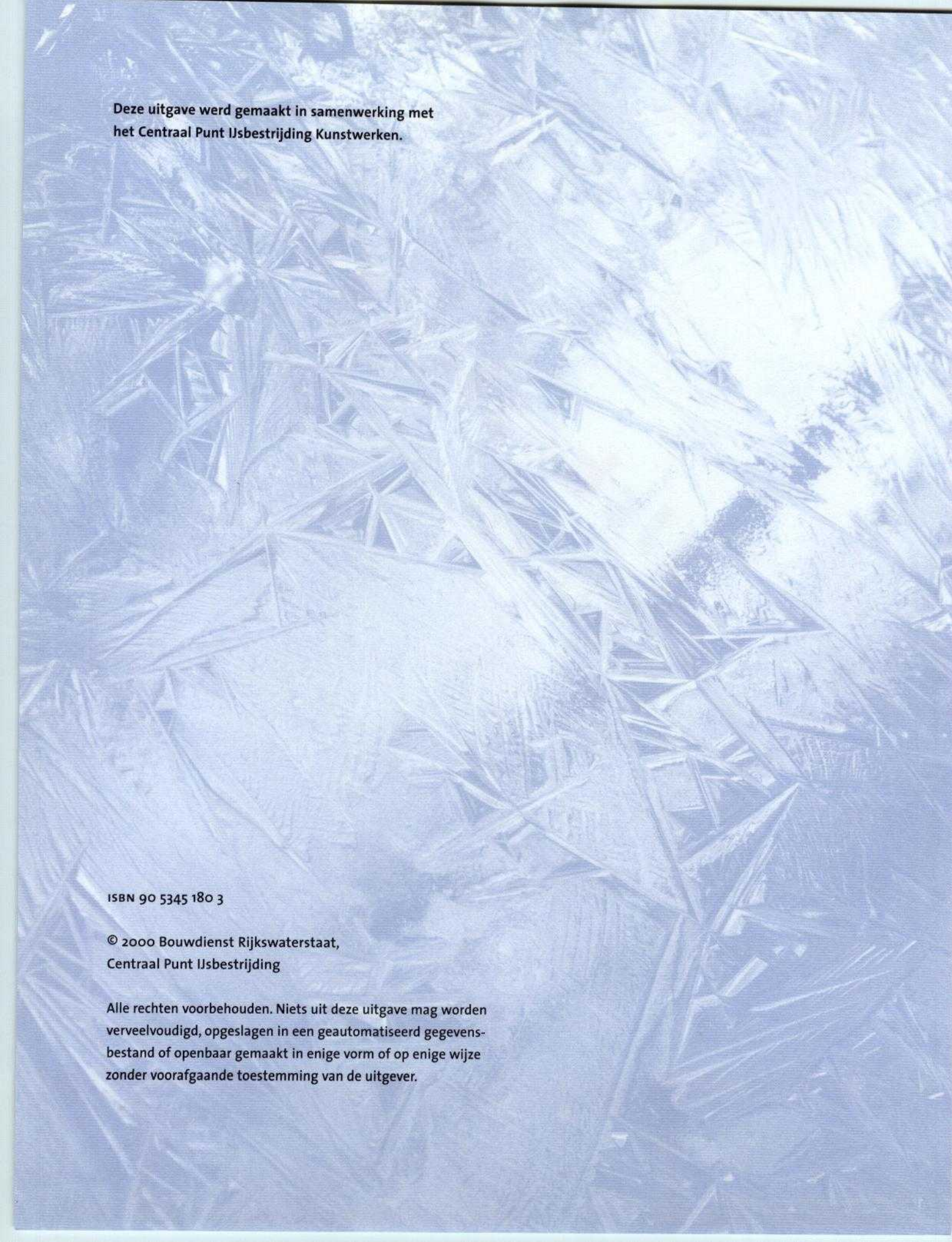




Centraal Punt IJsbestrijding

IJsbestrijding bij kunstwerken

ing. L.J. Vankan



Deze uitgave werd gemaakt in samenwerking met
het Centraal Punt IJsbestrijding Kunstwerken.

ISBN 90 5345 180 3

© 2000 Bouwdienst Rijkswaterstaat,
Centraal Punt IJsbestrijding

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevens-
bestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze
zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.



Inhoud

Woord vooraf	7
Ijsbestrijding bij kunstwerken	8
Drijfijis	10
Ijsaangroei	10
Luchtbellenschermen ten opzichte van andere waterverplaatsingstechnieken	10
Wandverwarming	12
Organisatorische maatregelen	12
Alternatieve ijsbestrijdingsmaatregelen	13
Maatregelen in de ontwerpfase	13
Ijsbestrijding bij sluizen	14
Ijsbestrijding bij sluizen met puntdeuren	15
Ijsbestrijding bij sluizen met hefdeuren	18
Ijsbestrijding bij sluizen met roldeuren	23
Verdere ijsbestrijdingsmaatregelen	28
Wandververwarming	29
Ijsbestrijding bij de hydraulische cilinders van de deurscheufbewegingswerken van de Grote Merwedeluis en Grote Sluis Vianen	32
Deurschuifbewegingswerken van de schutsluis Amerongen	34
Niet rollen, maar glijden	36
Ijsbestrijding bij het stuwcomplex Amerongen	39
Ijsbestrijding door middel van een ijsschaaf	46
Uitgevoerde ijsbestrijdingsmaatregelen	48
Ijsbestrijding bij het naviduct van het Krabbersgat	49
Ijsbestrijding bij de schutsluis Engelen	51
Ijsbestrijding bij een tanker	54
Bijlage Berekeningen	56

Ijsbestrijding

bij kunstwerken

1



⌘ Twenthekanaal te Delden, januari 1996

Woord vooraf

Het boek *Ijsbestrijding bij kunstwerken* is tot stand gekomen in het kader van het project Centraal Punt Ijsbestrijding Kunstwerken. Over ijsbestrijding bij kunstwerken is door het Centraal Punt in de loop der tijd veel kennis verzameld en ook in de praktijk toegepast. Door deze kennis naar buiten te brengen hopen wij de beheerders van kunstwerken een handreiking te geven hoe zij overlast door ijsvorming op eenvoudige wijze kunnen voorkomen en hoe zij moeten handelen als zich onverhoopt toch problemen voordoen.

Voor ontwerpers van nieuwe kunstwerken kan het boek leiden tot een beter inzicht in de noodzaak om ijsbestrijdingsmaatregelen in het ontwerp van de kunstwerken mee te nemen.

Het boek heeft niet de pretentie om volledig te zijn. Wel is getracht om de ijsproblemen die door het Centraal Punt Ijsbestrijding Kunstwerken in behandeling zijn geweest op een geordende wijze te presenteren.

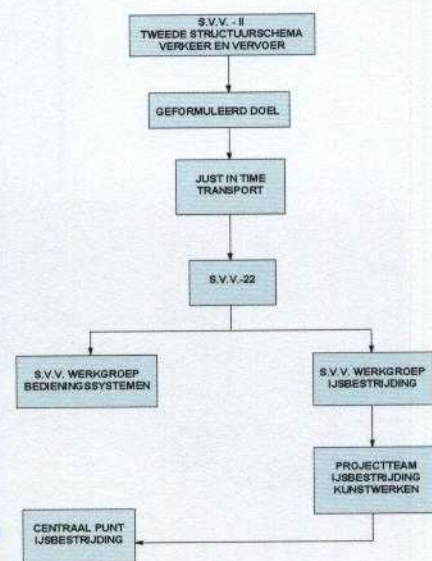
ing. L.J. Vankan >> projectleider

Centraal Punt Ijsbestrijding Kunstwerken

Een goede bereikbaarheid over water is essentieel om de transport- en distributiefunctie van Nederland te handhaven en te versterken, zo stelt het Tweede Structuurschema Verkeer en Vervoer (svv II). Uiteraard is het daarbij van groot belang dat sluisen en stuwen in bevaarbare waterwegen zo goed mogelijk blijven functioneren. Vastgevroren sluisen en stuwen leiden immers niet alleen tot materiële, maar ook tot grote economische schade omdat ze het scheepvaartverkeer stremmen. Bovendien kan ijsvorming de veiligheid in het gedrang brengen: waterwegen en de daarin gelegen kunstwerken hebben een belangrijke functie bij het gecontroleerd afvoeren van water, ijs en sedimenten; tijdens periodes van strenge vorst kunnen ijsafzetting en drijfijis bij kunstwerken een gecontroleerde afvoer ernstig belemmeren.

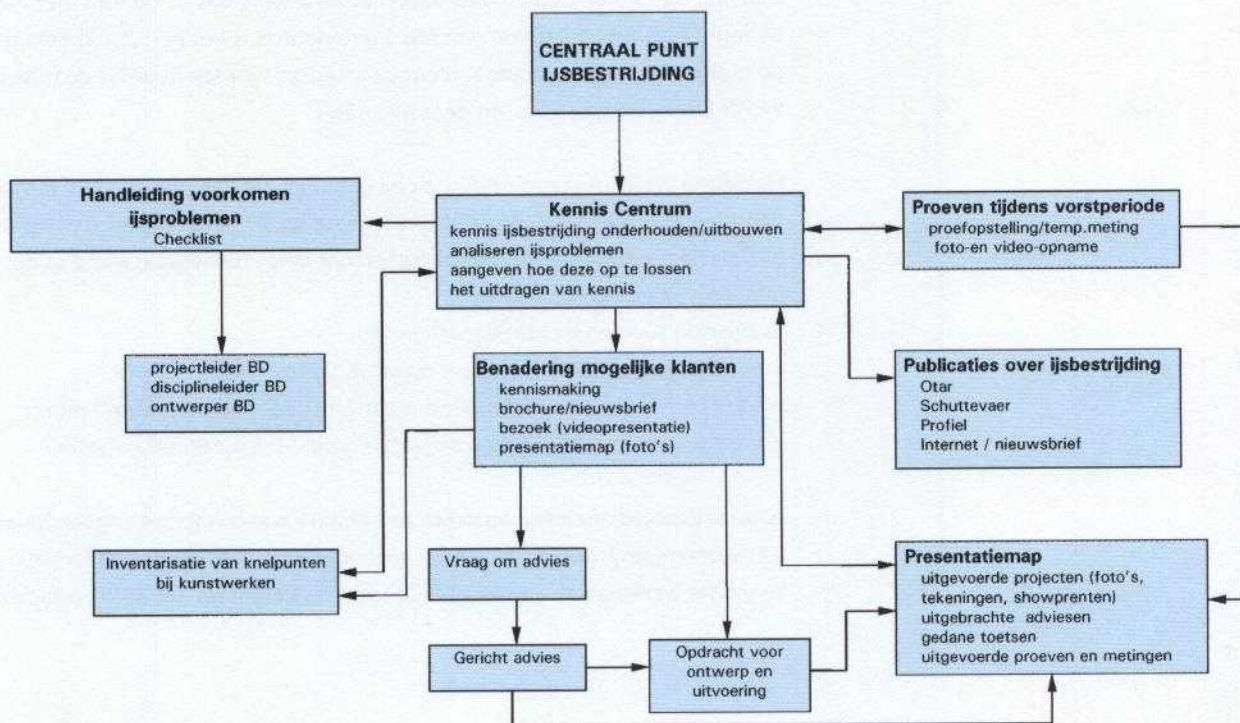
Door de *Werkgroep Ijsbestrijding Kunstwerken* is een inventarisatie gehouden onder de beheerders van kunstwerken in de Nederlandse vaarwegen over de problemen die zij in het verleden met ijsvorming hebben gehad en welke maatregelen ze daartegen hebben genomen. Dit heeft geresulteerd in de nota 'Adviezen en aanbevelingen ijsbestrijding kunstwerken', waarin algemene maatregelen voor ijsbestrijding worden gegeven. De notitie beperkte zich tot het noemen van de mogelijkheden die voorhanden zijn, zonder daar dieper op in te gaan. Verder pleitte de notitie voor het inrichten van een *Centraal Punt Ijsbestrijding bij Kunstwerken*. Dit Centraal Punt is in 1994 ingericht bij de Bouwdienst afdeling NIW te Tilburg.

Het Centraal Punt Ijsbestrijding heeft inmiddels meerdere ijsbestrijdingsprojecten uitgevoerd; het betreft in hoofdzaak ijsbestrijding bij sluisen en stuwen. De problemen die bij deze kunstwerken optreden, zijn te verdelen in: problemen met drijfijis en problemen met ijsaangroei. Ter bestrijding wordt in belangrijke mate gebruik gemaakt van kasblaasinstallaties, luchtbellenschermen en whirlschermen.



Dit schema geeft het ontstaan van het Centraal Punt Ijsbestrijding aan.

Overzicht van de werkzaamheden van het Centraal Punt Ijsbestrijding.





*Door voor de sluisdeur te
gaan liggen houdt een
sleepboot het drijfijls weg
bij een hefdeur.*

Drijfijls

Drijfijls veroorzaakt in hoge mate problemen in of nabij deurkassen. Dit geldt zowel bij sluizen met puntdeuren, als bij sluizen met rol- of hefdeuren. Het drijfijls verzamelt zich in de deurkassen en belemmert het openen van de sluisdeuren.

Ook kan drijfijls terecht komen in de open constructie van deuren. Bij sluizen uitgerust met hefdeuren kan dit een groot probleem vormen, want het te heffen deurgewicht kan hierdoor aanzienlijk toenemen. Bij te veel gewicht is het deurbewegingswerk niet meer in staat de hefdeur te openen.

Drijfijls dat terecht komt in hefdeurnissen, of onder de hefdeur, kan ervoor zorgen dat de hefdeur niet op de drempel komt en zodoende niet sluit.

Het is mogelijk om drijfijls weg te houden uit deurkassen of open constructies door het water vanuit de deurkas of open constructie in beweging te brengen. Dit kan heel goed door onder de waterlijn lucht in het water te laten ontsnappen met overdruk. Vanwege de lengte van de deurkas of open constructie moet dit op meerdere plaatsen gedaan worden.

Een eenvoudige methode is via een buis met gaatjes die op onderling gelijke afstanden zijn aangebracht, en waaruit men lucht laat stromen. De waterbeweging kan zo over de hele lengte van de deurkas of open constructie in gang worden gezet. Van belang is wel dat de buis dicht tegen de betonnen wand of beplating aan wordt gemonteerd. Proefondervindelijk is vastgesteld dat 1 m^3 opstijgende lucht 17 m^3 water mee omhoog transporteert.

Ijsaangroei

Ook ijsaangroei kan grote problemen veroorzaken in de deurkassen van sluizen met punt-, rol- en hefdeuren. Op de waterlijn kunnen ijskragen ontstaan tegen de betonnen deurkaswanden, met als gevolg dat de deuren niet meer behoorlijk geopend kunnen worden. Bij roldeuren is het niet denkbeeldig dat de afdichtingsrubbers op de roldeur beschadigd worden doordat de roldeur wordt klemgetrokken tussen deze ijsranden.

Hetzelfde systeem tegen drijfijls is ook geschikt voor het tegengaan van ijsaangroei. Hierbij wordt het relatief warmere water dat zich beneden op de bodem bevindt langzaam omhoog gebracht langs de deurkaswand of de beplatingskant van een deur.

Er zijn drie soorten luchtbellenschermen:

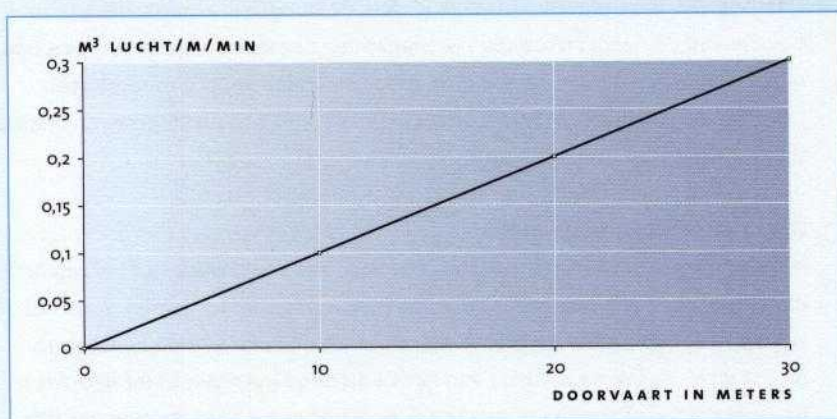
- kasblaasinstallaties, capaciteit $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- luchtbellenschermen, capaciteit $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- whirlschermen, capaciteit $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Luchtbellenschermen ten opzichte van andere waterverplaatsingstechnieken

Bij de bestrijding van ijsproblemen spelen luchtbellenschermen een belangrijke rol. De werking van een luchtbellenscherm berust op het airlift-principe:

men laat gecomprimeerde lucht onder water ontsnappen, deze lucht stijgt naar het wateroppervlak en transporteert water mee omhoog. De hoeveelheid getransporteerd water hangt af van de diepte waarop men de lucht laat ontsnappen. In proeven is aangetoond dat 1 m^3 vrije lucht ongeveer 17 m^3 water mee omhoog neemt bij een diepte van 10 m. Is de waterhoogte minder dan 10 meter, dan is de hoeveelheid getransporteerd water evenredig minder.

Door het Centraal Punt Ijsbestrijding van de Bouwdienst zijn proeven uitgevoerd bij de schutsluis Amerongen. Hierbij is vastgesteld dat voor het verkrijgen van een effectieve waterstroom – dat is een waterstroom die in staat is zwaar drijfs uit een puntdeurkas te verwijderen en weg te houden – $0,3 \text{ m}^3$ lucht per meter deurkaslengte per minuut nodig is. Deze berekening geldt voor een sluis met een doorvaartbreedte van 30 meter. Als we ervan uitgaan dat de grootte van de ijsschotsen (drijfs) samenhangt met de doorvaartbreedte, kunnen we stellen dat de ijsschotsen bij smallere sluisen evenredig kleiner zullen zijn. De hoeveelheid benodigde lucht om een puntdeurkas drijfsvrij te houden zal dan evenredig kleiner zijn. Deze gegevens zijn verwerkt in een grafiek.



Berekening benodigd aantal m^3 lucht voor een puntdeurkas:

$$Q_{\text{lucht}} = X \cdot L$$

X = aantal m^3 lucht afhankelijk van de doorvaart

L = totale lengte van de puntdeurkas

Berekening aantal m^3 water dat in beweging komt over de hele deurkaslengte:

$$Q_{\text{water}} = X \cdot L \cdot Y$$

Y = aantal m^3 water dat mee omhoog getransporteerd wordt afhankelijk van de waterhoogte

$$Y = 17 \cdot H / 10$$

H = waterhoogte in de deurkas

Het is van wezenlijk belang dat de waterverplaatsing zich aan het wateroppervlak manifesteert en zo over de hele deurkasbreedte het drijfs uit de puntdeurkas wegspoelt. Een luchtbellenscherm zal dit zeker bewerkstelligen, omdat het de hele deurkaslengte bestrijkt.

Bij het toepassen van alternatieve ijsbestrijdingsmaatregelen dient de werking minstens zo effectief te zijn als die van een luchtbellenscherm. Met andere woorden, de waterverplaatsing aan het wateroppervlak zal dus zeker gelijk moeten zijn aan de waterverplaatsing die bereikt wordt bij een luchtbellenscherm.

Wandverwarming

Ijsaangroei is gemakkelijk te voorkomen door het gebruik van een door de Bouwdienst ontwikkelde wandverwarming. Op de betonnen wanden van deurkassen ontstaat ijsaangroei vooral in de natte strook vlak boven de waterlijn, door fluctuaties van de waterlijn en de capillaire werking van de betonnen wand. Zo'n wandverwarming bestaat uit kunststofplaten die op de waterlijn tegen de betonnen wand van de deurkas door middel van ankers wordt aangebracht. Deze kunststofplaten zijn gemaakt van Hakorite (УНМВРЕ), een materiaal dat slecht warmte geleidt en de ingebrachte warmte dus lang vasthoudt. In de achterwanden van deze kunststofplaten zijn horizontale groeven gefreesd waarin verwarmingskabels worden aangebracht.

De dikte van deze platen bedraagt 15 mm, de hoogte is afhankelijk van de hoogte van de natte strook. Bij een nagenoeg constant waterpeil is een hoogte van 500 mm voldoende: 150 mm onder de waterlijn, 350 mm erboven. Uit proeven is gebleken dat de onderlinge afstand tussen de groeven (verwarmingskabels) 120 mm moet zijn.

Organisatorische maatregelen

Naast constructieve maatregelen is het voor het kunstwerk van belang om tijdens vorstperioden ook organisatorische maatregelen te nemen. Zo is het zinvol om een 'Ijsteam' te vormen, bestaande uit mensen van de beherende dienst en vertegenwoordigers van het bedienend personeel. Het ijsteam bevordert een gecoördineerde aanpak en zorgt ervoor dat de mensen zich betrokken voelen bij het gebeuren.

Ook kan het bedienend personeel aan de laatst binnengevaren schippers vragen om met de schroef van hun schip het drijfijls bij de deurkassen of onder een sluitende hefdeur 'weg te blazen'.

Het verder bij een deur vandaan leggen van de stopstreep kan zeer effectief zijn om te voorkomen dat schepen drijfijls in de open constructie van de deuren duwen.

Tijdens het openen van een hefdeur, op het moment dat de hefdeur bijna uit het water komt, kan een korte onderbreking van de hefbeweging zeer doelmatig zijn. De hefdeur krijgt zo de gelegenheid om 'uit te wateren'. Hiermee voorkomt men dat het druipwater het sluishoofd spiegelglad maakt. Een prettige bijkomstigheid voor de schepen is dat ze 'droog' onder de hefdeur door kunnen varen.

Ten slotte kan het schutten van drijfijls een reden zijn om te voorkomen dat zich ijsdammen voor een sluis vormen.

Alternatieve ijsbestrijdingsmaatregelen

Onder de alternatieve ijsbestrijdingsmaatregelen vallen het toepassen van waterpompen en DE-ICER ijsvrijmachines. Van de DE-ICER ijsvrijmachines zal de waterverplaatsing nagenoeg gelijk zijn aan de waterverplaatsing van een onderwaterpomp met hetzelfde vermogen. Een goede vergelijking geeft de volgende berekening.

Rekenvoorbeeld

Uitgangspunt is een sluis met een doorvaart van 10 meter.

Lengte puntdeurkas is dan 6 meter.

De natte hoogte van de deur is 4 meter.

$$Q_{\text{lucht}} = X \cdot L = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$Q_{\text{water}} = Q_{\text{lucht}} \cdot Y = 0,6 \cdot 17,4 / 10 = 4,08 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

De waterhoeveelheid die verplaatst moet worden, bedraagt dus 4,08 m³ per minuut.

Het realiseren van een waterverplaatsing door middel van een pomp met een opbrengst van 1 m³ per minuut zal in dit voorbeeld dus niet zo zinvol zijn. De effectieve waterverplaatsing zal immers minimaal 4 m³ per minuut moeten bedragen.

Een pomp met een opbrengst van 1 m³·min⁻¹ kan men onderbrengen in de droogzetronning, maar bij een pomp of installatie aangedreven door een mobiele compressor met een opbrengst van 4 m³·min⁻¹ lukt dit zeker niet. Een vergelijking van de kosten en de voor- en nadelen tussen beide is dus niet reëel.

Hoe moet het dan wel? Nodig is een stationair opgestelde, geluidgedempte, elektrisch aangedreven compressor met een luchtopbrengst van 0,6·1,5 = 0,9 m³·min⁻¹ = 15 l/sec., gecombineerd met een luchtketel van 500 l.

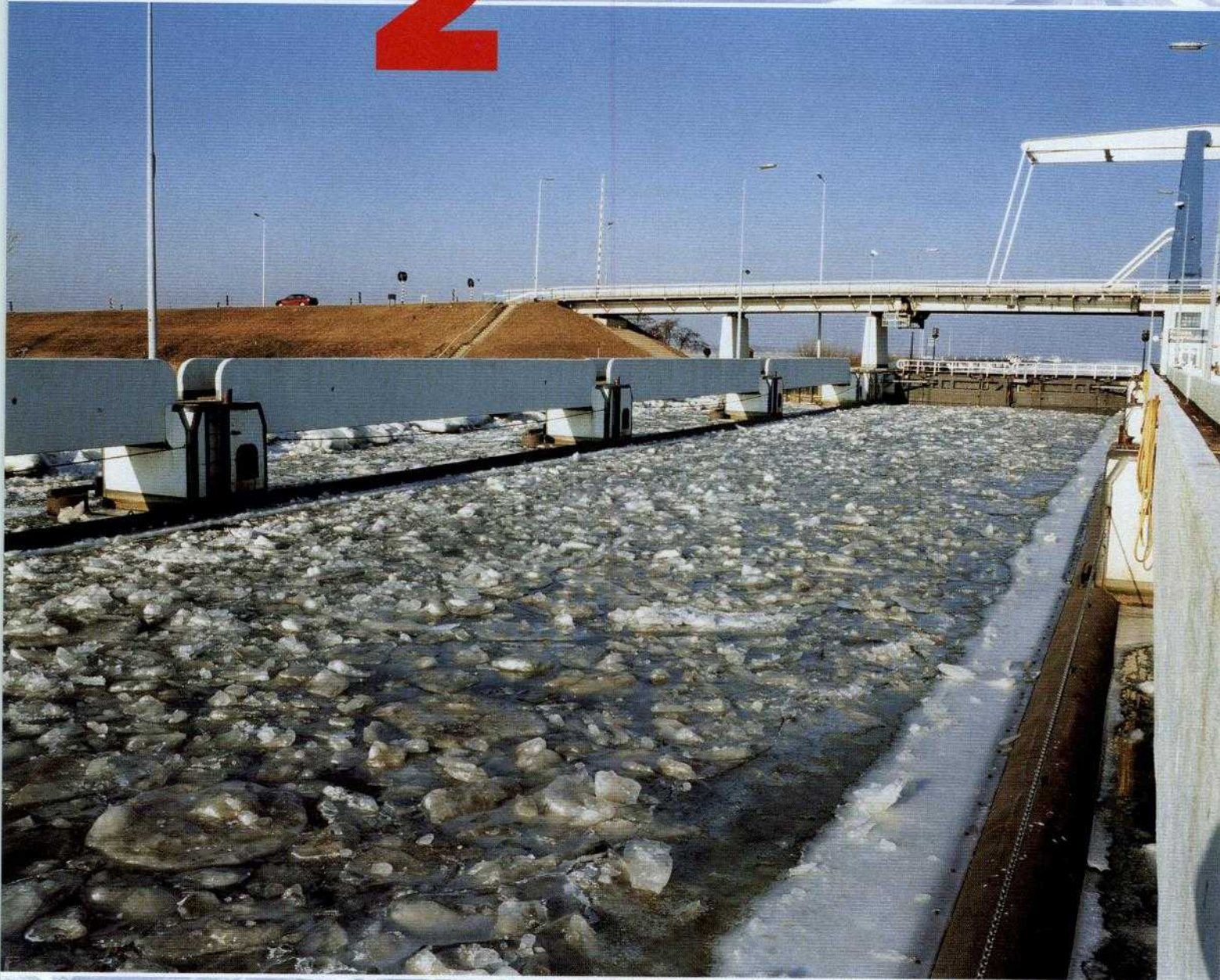
Dit is te vergelijken met een luchtbellenscherm gevoed door een pomp met een opbrengst van 4 m³·min⁻¹

Maatregelen in de ontwerpfase

De meeste constructieve maatregelen voor ijsbestrijding zijn of worden genomen bij in bedrijf zijnde kunstwerken. Het verdient uiteraard aanbeveling om de aan te brengen voorzieningen al in de ontwerpfase van een kunstwerk mee te nemen. Het aanbrengen van de voorzieningen zal hierdoor zowel eenvoudiger als goedkoper worden. Projectleiders en ontwerpers van kunstwerken zijn zich nog te weinig bewust van de mogelijkheden op het gebied van ijsbestrijding. Met name voor hen is dit boek geschreven.

Ijsbestrijding bij sluizen

2



Ijsbestrijding bij sluizen met puntdeuren

Sluizen uitgerust met puntdeuren kunnen tijdens vorstperioden veel hinder ondervinden van ijsvorming. Problemen kunnen zowel ontstaan met de deurbewegingen als met het nivelleren.

Problemen met de deurbewegingen hebben verschillende oorzaken. Ze ontstaan door drijfijis dat zich ophoopt tegen de puntdeuren en in de puntdeurkassen, of door ijsranden die op de waterlijn in de kassen en tegen de deuren ontstaan. Ook het blokkeren van de achterharren en het vastvriezen van de draaipunten zijn veel voorkomende euvels. In alle gevallen is het resultaat dat de puntdeuren niet of onvoldoende geopend kunnen worden. De puntdeuren raken geblokkeerd of komen niet meer strijkend met de sluiswand in de deurkassen terecht. Ze blijven als het ware uitsteken in de vaarweg en vormen een lastig obstakel bij het in- of uitvaren van de sluis.

De problemen bij het nivelleren bestaan uit het blokkeren van de deurschuifbewegingswerken en het vastvriezen van de deurschuiven. Het blokkeren van de deurschuifbewegingswerken en een oplossing voor deze problemen wordt beschreven in de paragraaf 'Deurschuifbewegingswerken schutsluis Amerongen' op pagina 34.

De ophoping van drijfijis tegen de puntdeuren en in de puntdeurkassen, het blokkeren van de achterharren, en het vastvriezen van de draaipunten, kunnen worden voorkomen door het gebruik van kasblaasinstallaties.

Qua luchtopbrengst wordt onderscheid gemaakt tussen kasblaasinstallaties, luchtbellenschermen en whirlschermen. De benodigde luchtopbrengst bij de afzonderlijke installaties is door het Centraal Punt Ijsbestrijding Kunstwerken proefondervindelijk vastgesteld:

kasblaasinstallaties:

luchtopbrengst $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

luchtbellenschermen:

luchtopbrengst $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

whirlschermen:

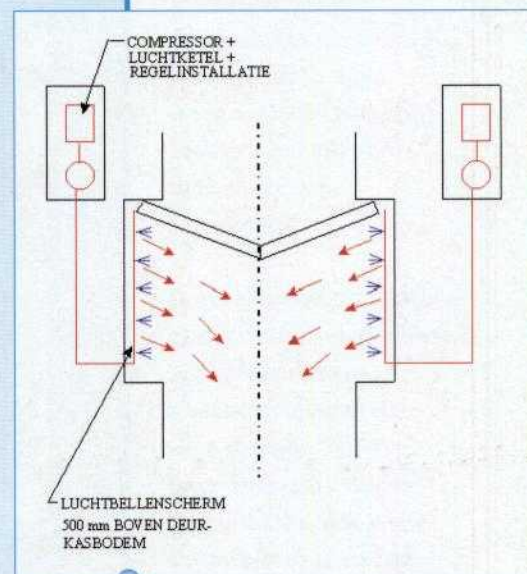
luchtopbrengst $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

De kasblaasinstallatie is opgebouwd uit de volgende componenten: een compressor, een luchtketel, een regelinstallatie, het leidingwerk en een luchtbellenscherm (gaatjesbuis).

De hoeveelheid benodigde lucht om een puntdeurkas ijsvrij te houden, bedraagt $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, zodat hier gekozen is voor een kasblaasinstallatie. Vanaf de compressor loopt een leiding naar de luchtketel. Voorbij deze luchtketel wordt een regelinstallatie aangebracht, die bestaat uit een drukregeling en een hoeveelheidsregeling. Vanaf de regelinstallatie loopt een leiding naar de puntdeurkas. Aan de niet-draaipuntzijde in de kas loopt de leiding naar beneden tot ongeveer 0,5 meter

Ijs wordt weggehouden van de puntdeurkas van het benedenhoofd van de schutsluis Amerongen door een werkende kasblaasinstallatie.

De foto is genomen tijdens de vorstperiode van '96-'97 bij een buitentemperatuur van -15°C .



Schematische weergave van een sluishoofd met puntdeuren uitgerust met kasblaasinstallaties.

Schematische weergave van de doorsnede van een sluishoofd met puntdeurkassen.

De kasblaasinstallatie is 'kort' tegen de deurkaswand geplaatst, zodat een goede waterstroming ontstaat, gericht vanuit de puntdeurkas.

Schematische weergave van de doorsnede van een sluishoofd met puntdeurkassen.

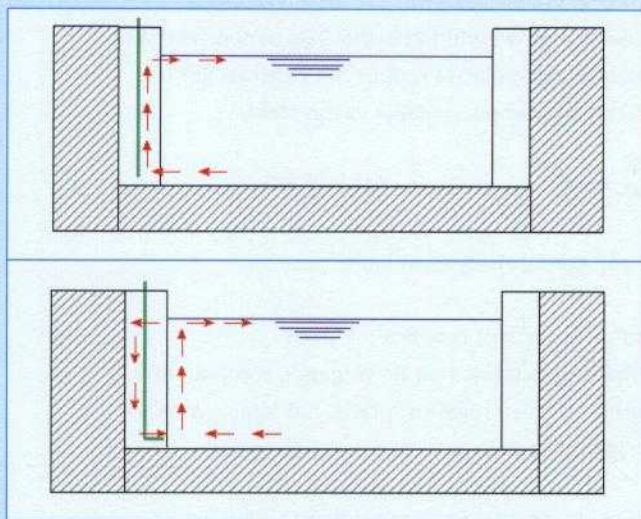
De kasblaasinstallatie is niet 'kort' tegen de deurkaswand geplaatst, zodat geen goede waterstroming ontstaat, gericht vanuit de puntdeurkas.

boven de deurkasbodem. Hier buigt de leiding in horizontale richting tot kort bij de draailingsas van de puntdeur. Het horizontale gedeelte is voorzien van luchtuitstroomgaatjes. De diameter van deze leiding is 2 inch.

Het verdient de voorkeur om leidingen van kunststof te gebruiken. Bij het expanderen van de lucht – bij het uitstromen uit de gaatjesbuis – vindt namelijk een behoorlijke temperatuurdaling plaats. Omdat ijs snel hecht aan staal, kunnen bij stalen buizen de gaatjes van het luchtbellenscherm dichtvriezen. Goede resultaten worden bereikt met zogenaamde GRP-buizen, waar ijs zich nagenoeg niet aan hecht.

De horizontale leiding moet kort tegen de betonnen deurkaswand worden geplaatst. Dit geeft de beste stroming van het water, namelijk van de deurkaswand af. Dit is aangegeven op onderstaande tekening. Het relatief warme, diepe water wordt in een grote boog langs de puntdeurkaswand naar boven getransporteerd. Aan de oppervlakte stroomt het water van de puntdeurkaswand vandaan en neemt het hier aanwezige drijfijls mee.

Als de kasblaasinstallatie verder van de wand wordt geplaatst, kan een averechtse werking optreden. In plaats van één grote waterstroom ontstaan dan twee stromingen, zoals aangegeven op onderstaande tekening. Eén waterstroom wordt dan als het ware 'gevangen' in de puntdeurkas, met als gevolg dat deze in de kas blijft ronddraaien, heel snel afkoelt en bevroert. Tevens wordt het drijfijls dat zich in de puntdeurkas bevindt, in de puntdeurkas opgesloten.



De luchtleiding moet op ongeveer 500 mm vanaf de bodem van de puntdeurkas tegen de wand worden geplaatst. Deze hoogte wordt aangehouden om te voorkomen dat met de waterstroom meegevoerd erosiemateriaal zich afzet op de bodem van de puntdeurkas en zo de werking van het luchtbellenscherm belemmert.

Het verdient aanbeveling om de luchtuitstroomgaatjes naar het draaipunt toe groter te maken. Dit bewerkstelligt dat het drijfijls uit de puntdeurkas wordt gedreven en tevens weg van de puntdeur.

Verdeling van de luchtuitstroomgaatjes

Het beste effect wordt bereikt met de volgende verdeling gezien vanaf het draaipunt van de puntdeur:

De hoeveelheid benodigde lucht $q = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Benodigde lucht voor hele puntdeurkas $Q = L \cdot q$

L = deurkaslengte in m

Over eerste $\frac{1}{3}L$, $\frac{1}{2}Q$.

Over tweede $\frac{1}{3}L$, $\frac{1}{3}Q$.

Over derde $\frac{1}{3}L$, $\frac{1}{6}Q$.

Diameter van de gaatjes:

Over eerste $\frac{1}{3}L$ 8 mm.

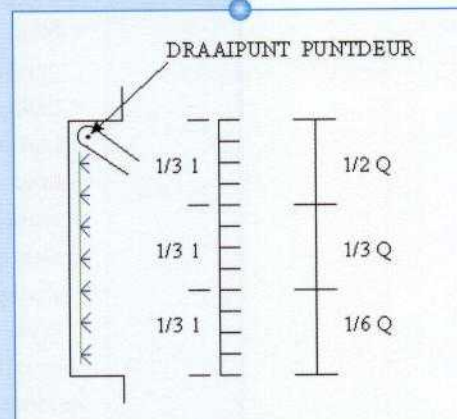
Over tweede $\frac{1}{3}L$ 6 mm.

Over derde $\frac{1}{3}L$ 4 mm.

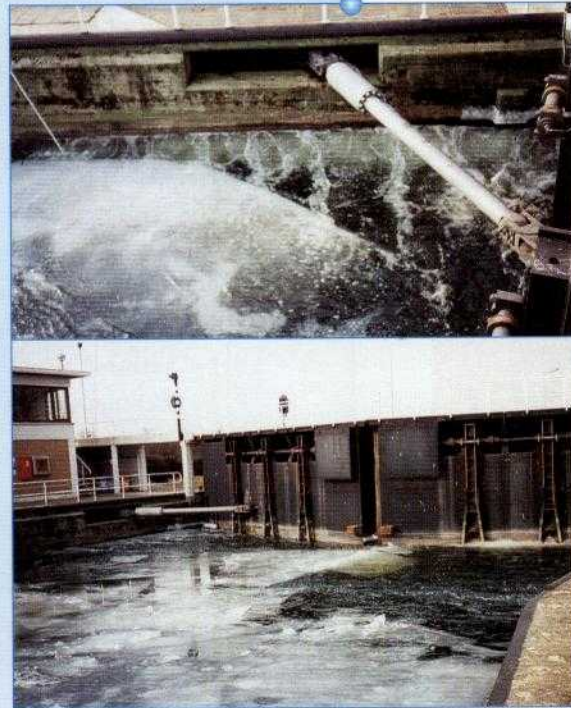
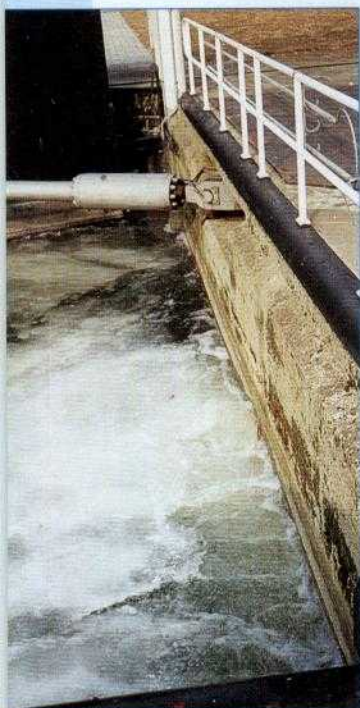
Voor de berekening van het aantal gaatjes, zie pagina 57.

Toepassing van kasblaasinstallaties voorkomt ook het aanvriezen van ijsranden tegen de betonnen deurkaswand. De opstijgende lucht neemt het relatief warmere, diepere water mee omhoog, zodat op de waterlijn geen ijskraag meer ontstaat. Het is wel van het grootste belang dat de hoeveelheid opstijgende lucht niet veel meer wordt dan de eerder genoemde $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Het effect van te veel lucht kan desastreus zijn: het opspattende water vormt dan binnen de kortste keren een enorme ijskraag, met name bij strenge vorst.

Verdeling van de benodigde lucht Q over de totale lengte van de puntdeurkas.



Deze foto's tonen het verloop van het schoonblazen van een deurkas door middel van een kasblaasinstallatie in een puntdeurkas van de schutsluis Amerongen.



Ijsbestrijding bij sluizen met hefdeuren

Sluizen uitgerust met hefdeuren kunnen tijdens vorstperioden eveneens problemen krijgen met de deurbewegingen en met het nivelleren. De problemen kunnen verschillende oorzaken hebben:

- ▶ gewichtstoename door ijsvorming op de hefdeuren;
- ▶ drijfijis dat terecht komt in de open vakwerkconstructie van de hefdeuren;
- ▶ blokkeren van de hefdeuren door ijsvorming op de loopwielen en de geleiderails;
- ▶ blokkeren van de hefdeuren door ijsvorming op de hefdeuraanslagen;
- ▶ blokkeren en vastvriezen van de afdrukinrichtingen;
- ▶ falen van de smering van de lierwerken en de hefkabels;
- ▶ blokkeren van de hefdeuren door drijfijis in de hefdeurnissen;
- ▶ dichtvriezen van de nivelleerschuiopeningen;
- ▶ vastvriezen van de deurschuiven;
- ▶ ijsvorming en vastraken van drijfijis tussen de onderkant van de hefdeuren en de drempels.

Hefdeuren worden bij iedere schutcyclus ondergedompeld en weer omhoog gehaald. Hierdoor kan zich bij vorst een ijslaag op de hefdeur vormen.

Deze ijslaag kan tijdens een strenge vorstperiode behoorlijk aangroeien.

Hierdoor kan het gewicht van de hefdeur ontoelaatbaar groot worden. Als van een geheven deur stukken van deze ijslaag losraken, kunnen bovendien zeer gevaarlijke situaties ontstaan voor de onder de hefdeur door varende schepen. Een ander probleem vormt drijfijis dat in de open constructie van de hefdeur terecht kan komen. Dit probleem kan nog verergerd worden door invarende schepen, die het drijfijis als het ware voor zich uit duwen tot kort voor de hefdeur. Dit drijfijis kan eveneens een ongewenste toename van het te heffen gewicht veroorzaken.

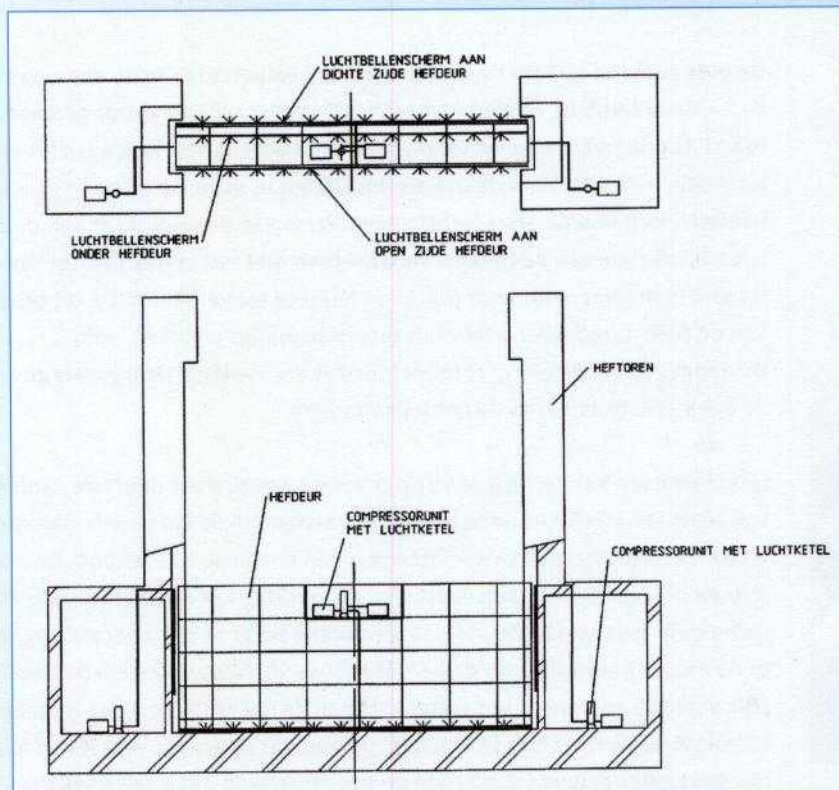
Drijfijis komt ook terecht in de hefdeurnissen. Een dalende hefdeur neemt het ijs mee tot op de drempel, waardoor het sluitproces wordt verstoord. Het zelfde treedt op als ijsschotsen zich onder de deur bevinden bij het dalen van de deur.

Deze problemen zijn op te lossen door het toepassen van luchtbellenschermen, whirlschermen en kasblaasinstallaties. De proefondervindelijk vastgestelde capaciteitswaarden zijn van:

- ▶ kasblaasinstallatie: $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- ▶ luchtbellenscherm: $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- ▶ whirlscherm: $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ tot $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Een luchtbellenscherm en een whirlscherm zijn opgebouwd uit de volgende hoofdonderdelen: een compressor, een luchtketel, een regelinstallatie, het leidingwerk en het luchtbellenscherm (gaatjesbuis).

Een kasblaasinstallatie bestaat uit dezelfde hoofdonderdelen als een luchtbellenscherm of whirlscherm, alleen is de gaatjesbuis hier vervangen door een uitstroombuis.

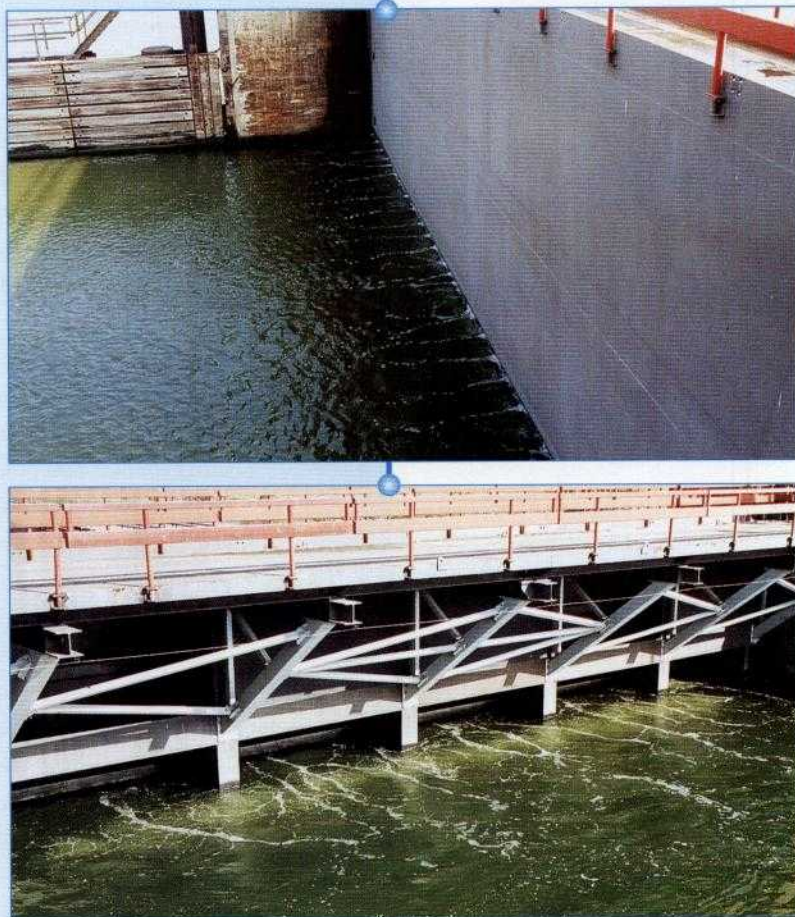


Schematische weergave van een hefdeur van de Kreekraksluizen, waarop aangegeven het whirlscherm en de luchtbellenschermen op de hefdeur en de kasblaasinstallaties in de hefdeurnissen.

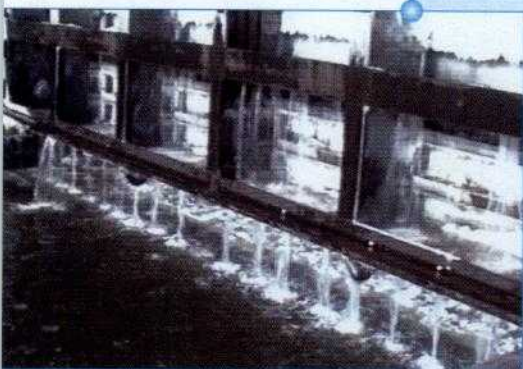
Een whirlscherm in werking aan de beplatingszijde van een hefdeur.

Een luchtbellenscherm in werking aan de open-constructiekant van een hefdeur.

Op een hefdeur worden meestal twee luchtbellenschermen en een whirlscherm toegepast. Het whirlscherm wordt gemonteerd tegen de beplatingskant van de hefdeur. Het whirlscherm zorgt ervoor dat, als de hefdeur gesloten is (dus in de benedenstand staat), het relatief warmere, diepe water zachtjes langs de hefdeur omhoog wordt geleid. Hierdoor zal de hefdeur niet vastvriezen; het ijs dat zich bij de vorige schutcyclus tegen de geheven deur heeft afgezet, zal nagenoeg smelten. Zo'n whirlscherm moet kort tegen de beplating van de hefdeur worden gemonteerd om een averechtse werking te voorkomen. Doet men dit niet, dan ontstaat er een 'strook' water tegen de beplating van de deur die heel snel afkoelt en bevroert. De diameter van de uitstroombaatjes bedraagt 1 mm en de onderlinge afstand van de gaatjes bedraagt 750 mm. De gaatjesbuis bestaat uit met glasvezel versterkte kunststof (GRP), omdat ijs zich hier nauwelijks aan hecht. Bij een stalen buis kunnen de luchtgaatjes dichtvriezen.



*Scheepsschroeven zorgen
voor het 'wegblazen' van
drijfijis bij een hefdeur van
de Kreekraksluizen.
De buitentemperatuur is -15°C.*



*Bij het openen van de
Kreekraksluizen laat men
ongeveer 1 meter boven
de waterspiegel een
hefdeur 'uitwateren'.
De buitentemperatuur is -15°C.*

De buis voor het luchtbellenscherm wordt geplaatst tegen de onderkant van de hefdeur. Een buis voor een tweede luchtbellenscherm wordt geplaatst tegen de onderkant van de open-constructiezijde van de hefdeur. Het eerste luchtbellenscherm moet de afwateringsgaten in de horizontale liggers van de hefdeur open houden. Het luchtbellenscherm aan de onderkant van de open-constructiezijde van de hefdeur moet samen met het eerste luchtbellenscherm voorkomen dat er drijfijis in de hefdeur terecht komt. De capaciteit van de twee luchtbellenschermen samen bedraagt $0,3\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. De aangegeven opstelling zorgt ervoor dat een waterstroom ontstaat vanuit de open constructie, van de hefdeur vandaan.

Hefdeurnissen kunnen vrij van drijfijis worden gehouden door het aanbrengen van kasblaasinstallaties in beide hefdeurnissen. Bij de kasblaasinstallatie wordt geen gaatjespijp toegepast maar een enkelvoudige leiding. De waterstroom die hierbij ontstaat, voorkomt dat er drijfijis in de hefdeurnis komt als de hefdeur geheven is. De kasblaasinstallatie zorgt er ook voor dat het drijfijis in de naaste omgeving van de hefdeurnis wordt weggehouden, dus ook de plek waar de hefdeur in het water komt bij de neergaande beweging. Een kasblaasinstallatie mag niet te krachtig zijn, omdat anders te veel water opspat. Het spatwater bevriest dan tegen de betonnen wand van de hefdeurnis. Ook moet de kasblaasinstallatie voorkomen dat zich ijs vormt bij de loop- en leidwielconstructie van de hefdeur. Door het opstijgen van relatief warm water zal dit probleem nagenoeg worden ondervangen.

De tendens bestaat om hefdeuren niet meer uit te rusten met loop- en leidwielen, maar met een schuifgeleiding. Aan de hefdeur wordt een schuiver bevestigd die beweegt over een kunststof (hakorite) geleiding. Om te voorkomen dat zich ijs vormt op deze geleiding kan deze kunststof geleiding worden voorzien van een verwarmingstracing. Zie hiervoor ook de paragraaf 'Niet rollen maar glijden' op pagina 36.

Organisatorische maatregelen

Bij sluizen uitgerust met hefdeuren moeten tijdens vorstperioden ook organisatorische maatregelen worden genomen. Zo kan men in de sluis de stopstreep voor de schepen verder van de hefdeur vandaan leggen. Dit voorkomt dat de invarende schepen drijfijis tegen de hefdeur of in de open constructie van de hefdeur duwen.

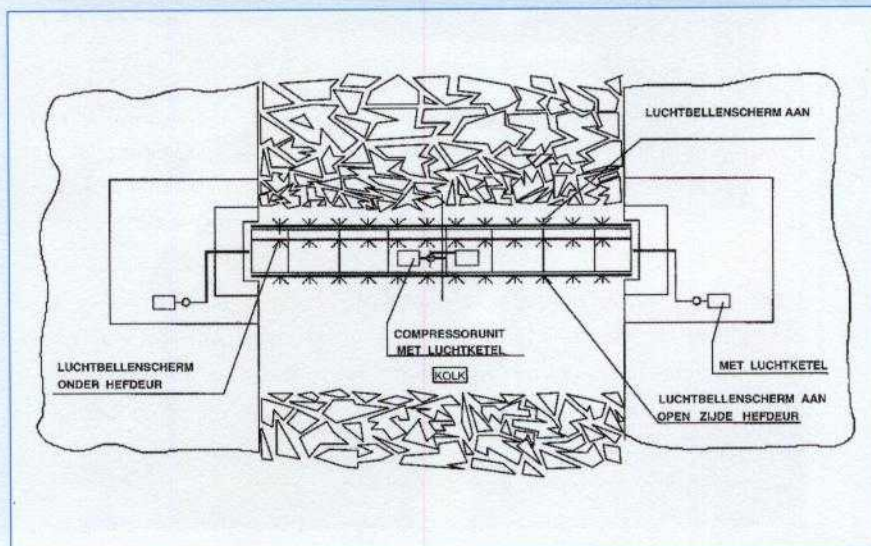
De sluisbediening kan bovendien aan de laatst ingevaren schepen vragen om met hun schroef het drijfijis, dat zich op de plaats bevindt waar de hefdeur in het water zal zakken, weg te 'blazen'. De hefdeur ondervindt dan bij de neerwaartse beweging veel minder last van het drijfijis.

Het verdient aanbeveling de hefdeur bij het openen niet in één trek in zijn geopende stand te brengen, maar de hefbeweging even te onderbreken op het moment dat de hefdeur het water verlaat. De hefdeur krijgt zo de gelegenheid om 'uit te wateren'. Dit vermindert de kans op ijsaangroei op de hefdeur. Door de invloed van de wind vriest een hefdeur in geheven stand boven-

dien sneller aan. Ook de waternevel die ontstaat als de hefdeur in één keer getrokken wordt, zal nagenoeg verdwijnen, waardoor het sluishoofd minder snel glad wordt door opvriezing.

Praktijkervaringen bij de Kreekraksluizen

De Kreekraksluizen hebben in het verleden veel hinder ondervonden van ijsvorming. Drijfijis kwam in de open constructies van de hefdeuren terecht, ijschotsen werden bij het zakken van de deuren in de hefdeurnissen op elkaar gestapeld, waardoor de deuren niet meer op de drempels terecht kwamen.



Schematische weergave van een sluishoofd met hefdeur (bovenaanzicht) van de Kreekraksluizen. Zowel aan de beplatingskant als aan de open-constructiekant van de hefdeur bevindt zich drijfijis.

Een luchtbellenscherm in werking onder de hefdeur en aan de open-constructiekant bij een hefdeur van de Kreekraksluizen. De buitentemperatuur is -15°C .

Een whirlscherm in werking tegen de beplatingskant van een hefdeur bij de Kreekraksluizen. De buitentemperatuur is -15°C .

Om de overlast door ijs te verminderen zijn diverse maatregelen genomen. Tijdens de strenge vorstperiode van 1996 bleek het gunstige effect van de maatregelen: de overlast was aanzienlijk teruggebracht.

Organisatorische maatregelen, zoals het verder weglekken van de stopstrepen, het laten uitwateren van de hefdeuren bij het heffen, en het even ophouden van de hefdeuren op ongeveer een meter boven de drempel voor ze definitief te sluiten, bleken erg effectief. De laatste maatregel bleek noodzakelijk om het luchtbellenscherm gelegenheid te geven om de ijsschotsen weg te blazen. Enkele minuten wachten voorkwam dat de schotsen onder de hefdeur terecht zouden komen, waardoor die niet goed sloot.

In het verloop van de vorstperiode heeft het sluispersoneel de ijsschotsen, die zich onder de hefdeuren in de kolk bevonden, laten 'wegblazen' door de scheepsschroeven van de te schutten schepen.

Duidelijk is naar voren gekomen dat onder zulke omstandigheden een goede teamcoördinatie essentieel is. In zo'n team moeten medewerkers zijn vertegenwoordigd van de bediening, van de technische dienst en van de beherende dienst. Bij de Kreekraksluizen bleek dit perfect geregeld. Dankzij goed teamwerk wist men bij dreigende calamiteiten snel corrigerend op te treden.

Hoewel er nog steeds zaken voor verbetering vatbaar zijn en men sommige punten al doende moest leren, zijn de mensen van de Dienstkring Schelde-



Rijn – die deze sluizen operationeel moeten houden – het er over eens dat ijs-
bestrijdingsmaatregelen absoluut hun vruchten afwerpen.

*Deze foto's tonen het
geleidelijk aan vastvriezen
van het geleidingsmechaniek
van hefdeuren.*



Berekening luchtbellenschermen, whirlscherm en kasblaasinstallaties

Luchtbellenschermen

Het luchtbellenscherm onder de hefdeur en het luchtbellenscherm tegen de openconstructiekant van de hefdeur worden gecombineerd.

$$Q_{1,2} = L \cdot q$$

L = lengte van de hefdeur in m.

$$q = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Neem voor de diameter van de gaatjes $4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$.

Berekening van het aantal gaatjes n : zie pagina 57.

Berekening van de onderlinge afstand van de gaatjes:

$$L_g = L \cdot (n-1)^{-1}$$

Hierin is L de lengte van de hefdeur in m.

Whirlschermen

$$Q = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Het whirlscherm zit tegen de beplatingskant van de hefdeur.

$$Q = L \cdot q$$

L = lengte van de hefdeur in m.

$$q = 0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Neem voor de diameter van de gaatjes $2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$.

Berekening van het aantal gaatjes n : zie pagina 57.

Berekening van de onderlinge afstand van de gaatjes: $L_g = L \cdot (n-1)^{-1}$

Hierin is L de lengte van de hefdeur in m.

Kasblaasinstallaties

Het betreft kasblaasinstallaties in de hefdeurnissen.

$$Q = b \cdot q$$

b = breedte van de hefdeurnis in m.

Ijsbestrijding bij sluizen met roldeuren

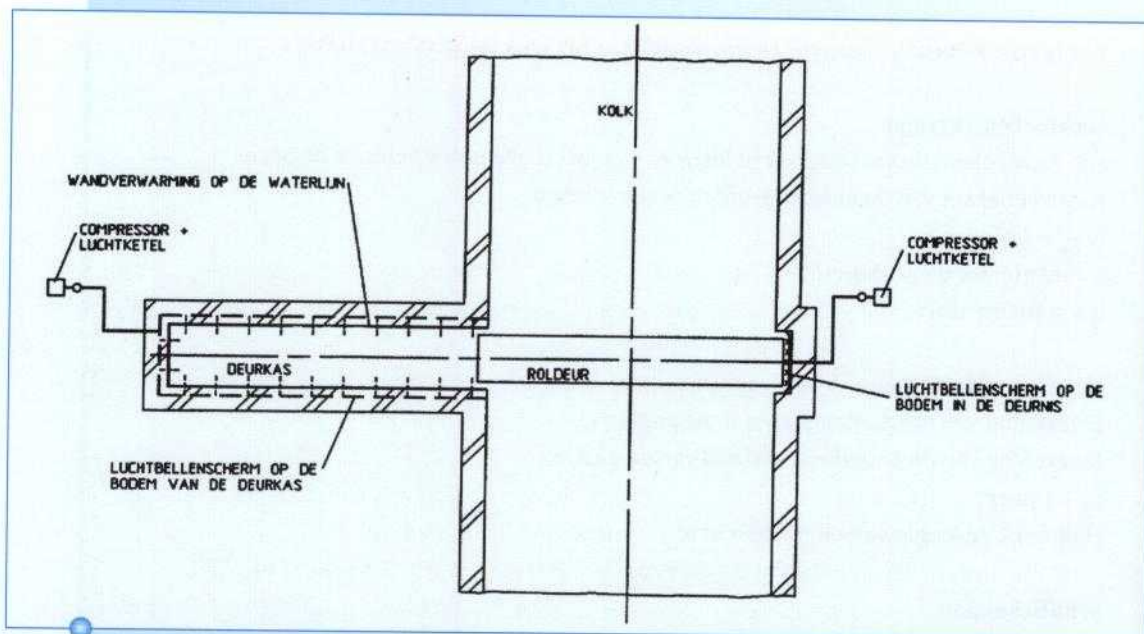
De volgende ijsproblemen treden veelvuldig op bij sluizen met roldeuren:

- drijfijls tussen de kopse kanten van de roldeuren en de betonnen wanden van de roldeurnissen;
- ijsaangroei en drijfijls achter de roldeuren in de roldeurkassen;
- dichtvriezen van de roldeurkassen.

Drijfijls komt bij het sluiten van de roldeur terecht tussen de kopse kant van de roldeur en de betonnen wand van de roldeurnis, waardoor de roldeur niet kan sluiten.

Drijfijls vormt eveneens een belemmering bij het openen van de roldeur.

Schematisch weergave
van een sluis met
roldeur. Aangegeven
zijn het luchtbellens-
cherm in de roldeur-
nis en het whirlscherm
en wandverwarming
in de roldeurkas.



Ijs voor een roldeurnis van de
Krammersluizen bij -15°C .

Deze roldeurkas bij de
Krammersluizen wordt open
gehouden met een
whirlscherm en een wand-
verwarming bij een buiten-
temperatuur van -15°C .

Het drijfijis wordt achter in de roldeurkas samengedrukt, waardoor de roldeur
niet geheel geopend kan worden.

Ijsaangroei ontstaat in hoofdzaak tegen de roldeurkaswanden op de water-
lijn. De roldeur wordt in dit geval klem getrokken tussen de ijskragen die zich
hebben gevormd. Dit levert meestal forse beschadigingen op van de verticale
rubberen deurafdichtingen. Een luchtbellenscherm kan de roldeurnis vrij hou-
den van drijfijis. Zo'n luchtbellenscherm is opgebouwd uit de volgende hoofd-
onderdelen: een compressor, een luchtketel, een regelinstallatie, het leiding-
werk en het luchtbellenscherm (gaatjesbuis).



Een toevoercapaciteit van $0,3\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ houdt de roldeurnis nagenoeg vrij van drijfijis. Het verdient aanbeveling om het sluiten van de roldeur een meter voor de eindstand even te stoppen; dit geeft het luchtbellenscherm de gelegenheid om het restdrijfijis weg te blazen.

Bij strenge vorst kan het water in de roldeurkas (achter de roldeur) bevriezen. Om dit te voorkomen, biedt een whirlscherm in de roldeurkas uitkomst. Een whirlscherm bestaat uit de zelfde hoofdonderdelen als een luchtbellenscherm; de capaciteit van een whirlscherm is daarentegen $0,003\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Zo'n whirlscherm wordt tegen de zijwanden van de roldeurkas aangebracht. Door het whirlscherm 0,5 meter van de bodem af te monteren bereikt men dat het scherm niet vervuult. De uitstroombaaitjes van een whirlscherm hebben een diameter van 1 mm en een onderlinge afstand van 5 meter. Beneden in de roldeurkas bevindt zich relatief warm water. Dit relatief warmere water wordt door het whirlscherm langzaam naar boven getransporteerd. Een vuistregel is dat 1m^3 uitgestroomde lucht 17m^3 water mee omhoog neemt. Het resultaat is dat de roldeurkas niet dicht vriest.

Vorming van ijsranden ter hoogte van de waterlijn is te voorkomen door het toepassen van een wandverwarmingssysteem, ontwikkeld door de Bouwdienst Rijkswaterstaat. Een dergelijk systeem is voornamelijk opgebouwd uit kunststof wandplaten (UHMWPE) en een verwarmingskabel.

Op de waterlijn worden kunststof wandplaten aangebracht, gemaakt van zogenaamd hakorite (UHMWPE). Dit materiaal is slecht warmte geleidend en houdt warmte dus langer vast. In de achterwand van deze wandplaten zijn horizontale groeven gefreesd, waarin een lusvormige verwarmingstracing is aangebracht.

De dikte van de kunststof wandplaten bedraagt 15 mm. De hoogte van de platen is afhankelijk van de waterfluctuatie. De onderlinge afstand tussen de groeven bedraagt 120 mm. Het elektrische vermogen van de verwarmingskabel bedraagt $28\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$. Uitgebreide proeven tijdens de ontwikkeling van deze wandverwarming hebben laten zien dat de oppervlaktetemperatuur aan de buitenkant van de wandplaten $+1^\circ\text{C}$ blijft bedragen bij een buitentemperatuur van -25°C . Deze temperatuur is gemeten bij alle lussen, en wel precies in het midden van de ruimte tussen de kabels (zie pagina 29).

Praktijkervaringen bij de Krammersluizen

Bovengenoemde maatregelen zijn onder andere uitgevoerd bij de Krammersluizen. Tijdens de strenge vorstperiode van begin 1996 heeft de wandverwarming in de roldeurkasten perfect gewerkt. Ijsaangroei ter hoogte van de waterlijn tegen de zijwanden en achterwanden van de roldeurkasten behoorde tot het verleden. Ook het dichtvriezen van de roldeurkasten is niet meer

Deze roldeurkas van de Krammersluizen is dichtgevroren. De buitentemperatuur is -15°C .

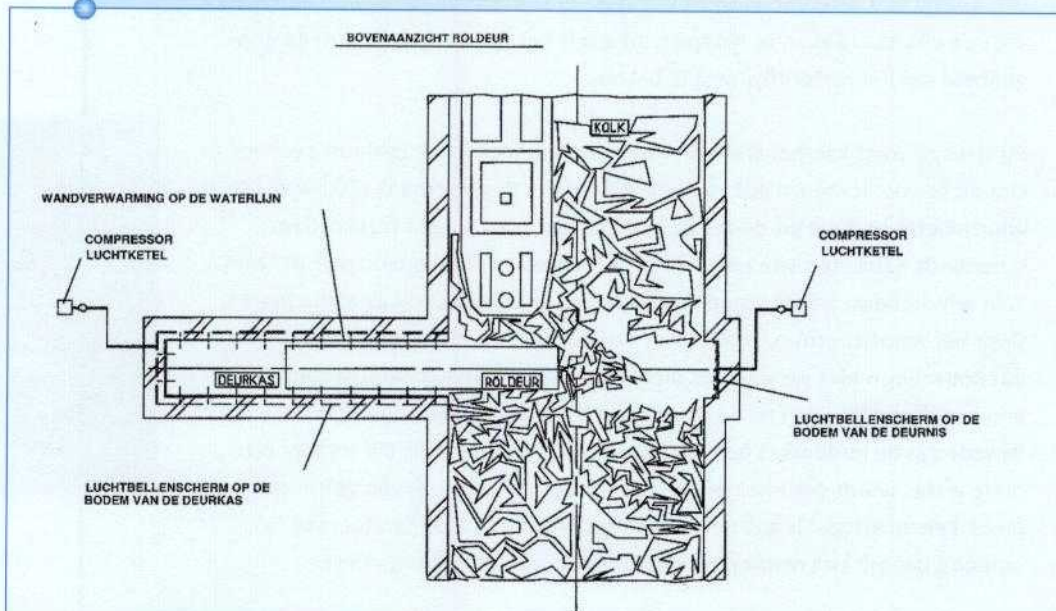


Bij deze roldeurkas van de Krammersluizen is wandverwarming en een whirlscherm geïnstalleerd. De buitentemperatuur bedraagt -15°C .

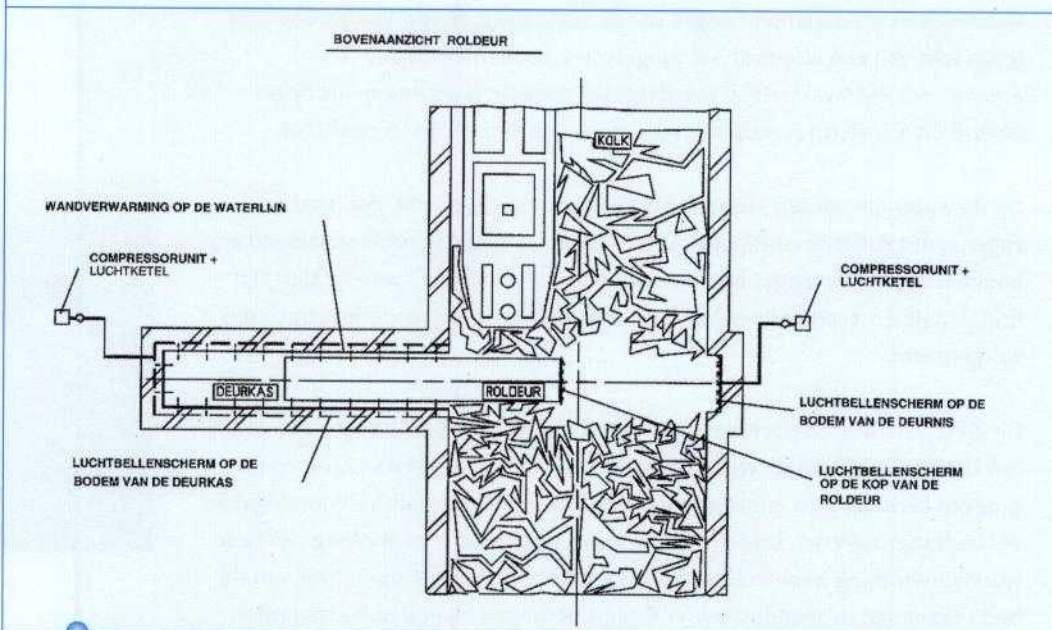


opgetreden, terwijl voor Zeeuwse begrippen toch zeer lage temperaturen werden gemeten.

Schematische weergave van een sluishoofd met roldeur van de Krammersluizen. Duidelijk te zien zijn de ophopingen van drijfijis aan de kopse kant van de roldeur.



Schematische weergave van een sluishoofd met roldeur van de Krammersluizen. Op de kopse kant van de roldeur is een kasblaasinstallatie geïnstalleerd.



Problemen traden nog wel op bij het sluiten van de roldeuren. Het drijfijis dat zich in de sluis bevond, bleef voor de kop van de roldeur liggen en werd daarvoor de roldeurnis ingeduwd. Hierdoor kwam de roldeur niet in zijn gesloten stand. Men probeerde dit probleem te verhelpen door de roldeur iets te openen en het drijfijis weg te blazen met het schroefwater van de sleepboot die assistentie verricht bij het invaren van de schepen.

De aangebrachte kasblaasinstallatie in de roldeurnis was wel in staat om de roldeurnis vrij te houden van drijfijis, maar niet om het met de roldeur mee

gevoerde drijfijs te verwijderen. Een oplossing voor dit probleem is een extra kasblaasinstallatie aan de kopse kant van de roldeur. Deze kasblaasinstallatie zal er dan voor zorgen dat er geen ijsschotsen meer voor de roldeur blijven liggen.

Berekening kasblaasinstallatie en whirlscherm

Kasblaasinstallatie

De kasblaasinstallatie in de roldeurnis:

$$Q = L \cdot q$$

$$q = 0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

L = de totale lengte van de roldeurnis in m.

Neem voor de diameter van de gaatjes $4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$.

Berekening van het aantal gaatjes n : zie pagina 57.

Berekening van de onderlinge afstand van de gaatjes: $L_g = L \cdot (n-1)^{-1}$.

Hierin is L de lengte van de roldeurnis in m.

Whirlscherm

Het whirlscherm in de roldeurkas:

$$Q = L \cdot q$$

$$q = 0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$L = 2$ maal de lengte van de roldeurkas in m.

Aan beide lange zijden van de roldeurkas een luchtbellenscherm.

Neem voor de diameter van de gaatjes $2 \text{ mm} = 0,002 \text{ m}$.

Berekening van het aantal gaatjes n : zie pagina 57.

Berekening van de onderlinge afstand van de gaatjes: $L_g = L \cdot (n-1)^{-1}$

Hierin is $L = 2$ maal de lengte van de roldeurkas in m.

Verdere ijsbestrijdings-

3

maatregelen



Wandverwarming

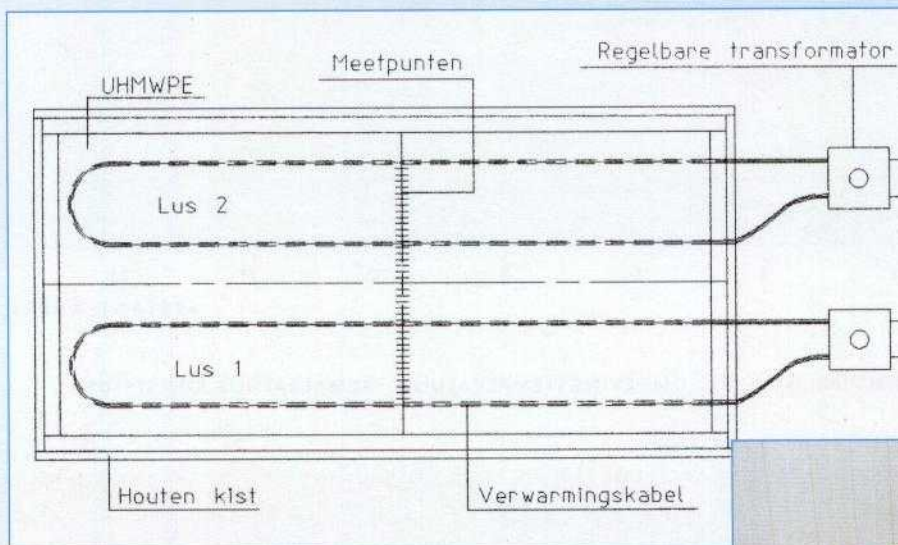
Bij de Kreekraksluizen heeft men in de strijd tegen ijsvorming succes geboekt met een wandverwarming.

De Kreekraksluizen zijn uitgerust met roldeuren. In tijden van vorst vormden zich op de waterlijn ijskragen tegen de zijwanden en achterwanden van de roldeurkassen. Bij het openen van de roldeuren werden deze klem getrokken tussen deze ijskragen met het nare gevolg dat de roldeurafdichtingen werden beschadigd.

Om dit euvel te voorkomen is door de Bouwdienst een wandverwarming ontwikkeld.

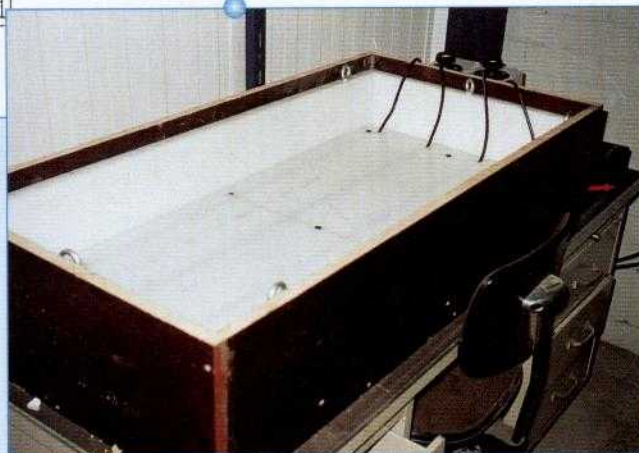
Een kunststof schrootje waarin een verwarmingskabel werd geleid vormde de eerste aanzet voor de methode. Dit leidde tot een ontwerp van kunststof platen, waarin aan de achterkant sleuven werden gefreesd om verwarmingskabels in onder te brengen. Om meer inzicht te krijgen in het temperatuurverloop in zo'n kunststof plaat is toen de volgende proef opgezet.

Op de bodem van een houten kist werd een 5 cm dikke laag beton aangebracht. Deze betonlaag werd met vier plat verzonken schroeven M8x40 aan de bodem van de houten kist bevestigd.



Schematische weergave van de proefkist voor de test van de wandverwarming.

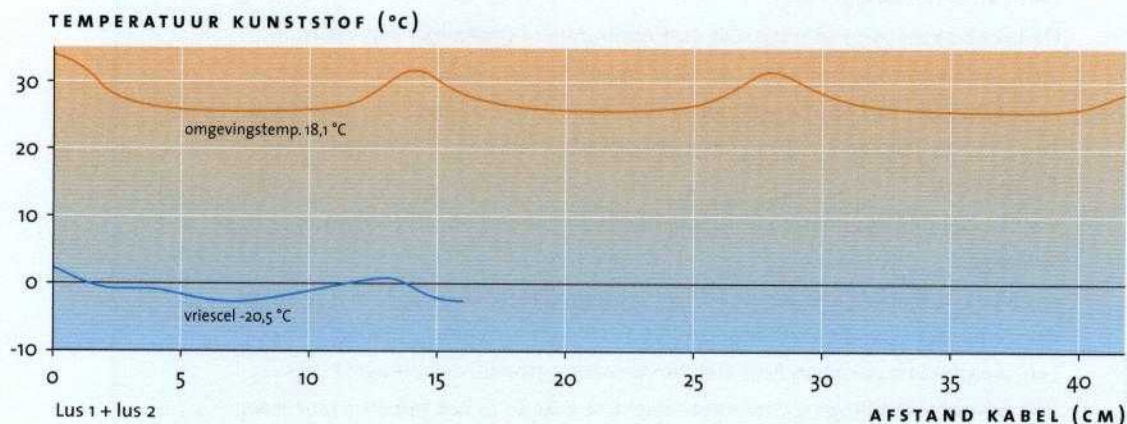
Opstelling van de proefkist voor de test van de wandverwarming.



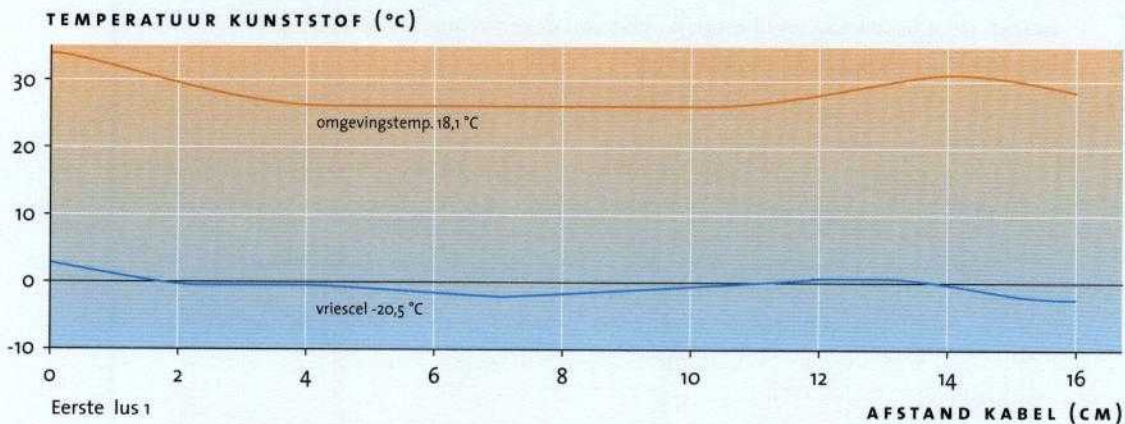
Op de betonlaag was een UHMWPE-plaat aangebracht met een dikte van 15 mm. De plaat was bevestigd met negen plat verzonken schroeven M8x40. In de achterwand waren sleuven aangebracht volgens een patroon zoals weergegeven op de tekening. In de sleuven waren twee verwarmingskabels aangebracht. Hiervoor werden inductiekabels gebruikt. De op de tekening aangegeven lijn met dwarslijntjes markeert de plaatsen waar de temperatuur werd gemeten.

Grafieken van de
meetresultaten
van de testen
van de wand-
verwarming.

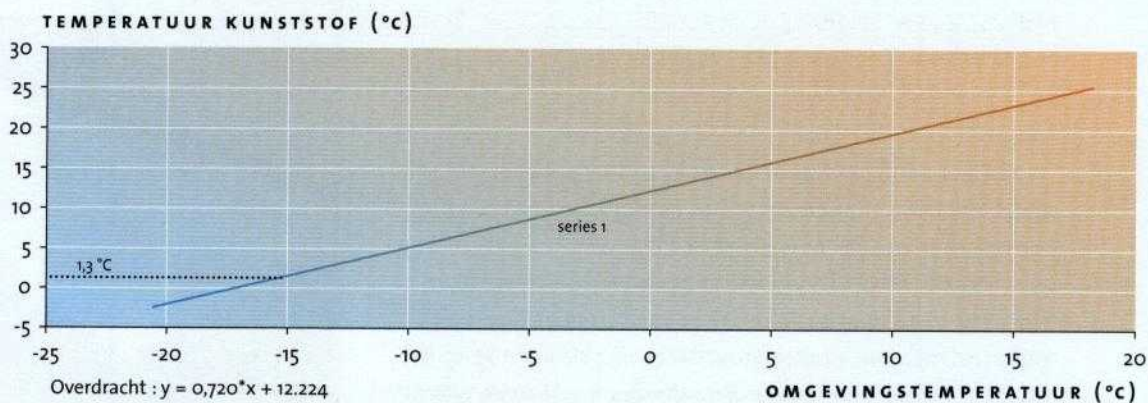
Temperatuurmeting WANDVERWARMING KRAMMERSLUIZEN



Temperatuurmeting WANDVERWARMING KRAMMERSLUIZEN



Overdracht karakteristiek OMGEVINGSTEMPERATUUR – TEMPERATUUR KUNSTSTOF



De beide verwarmingskabelsussen waren afzonderlijk verbonden met een regelbare transformator. De instelling van de beide trafo's diende volgens de leverancier van de verwarmingskabel (bij een T_{\max} van de kabel van 60°C) $62,5\text{V}$ te zijn. De eerste proef vond plaats bij de firma Den Exter te 's-Heerarendskerke.

De 'proefkist met toebehoren' werd op een tafel geplaatst in de fabriekshal. De omgevingstemperatuur bedroeg $18,1^{\circ}\text{C}$. Na het inschakelen van de verwarmingskabels heeft ieder half uur een temperatuurmeting plaatsgevonden. Na 5,5 uur trad nagenoeg geen temperatuurverandering meer op. De meetresultaten zijn vastgelegd in een meetprotocol.

De tweede proef vond plaats bij de firma Meyer (Frozen food) te Kruiningen. De 'proefkist met toebehoren' werd op een tafel geplaatst in een vriescel. De omgevingstemperatuur bedroeg $-20,5^{\circ}\text{C}$. Na het inschakelen van de verwarmingskabels heeft iedere 50 minuten een temperatuurmeting plaatsgevonden op de aangegeven punten van de eerste lus. Na 4 uur trad nagenoeg geen temperatuurverandering meer op. De meetresultaten zijn vastgelegd in een meetprotocol.

De derde proef vond plaats bij TNO te Apeldoorn. De 'proefkist met toebehoren' werd horizontaal op houten balkjes in een vrieskist geplaatst. In afwijking van proef 1 en proef 2 duurde deze proef 94 uur, waarbij men de temperatuur geleidelijk liet dalen van $21,8^{\circ}\text{C}$ (omgevingstemperatuur) naar $-21,8^{\circ}\text{C}$. De meetresultaten zijn vastgelegd in een meetprotocol. Bij bestudering van deze meetresultaten valt op dat deze nauwelijks afwijken van de meetresultaten van proef 1 en proef 2.

De laatste metingen uit proef 1 en proef 2 (toen de temperatuur niet meer veranderde) zijn weergegeven in grafiek 1. Bij proef 1 is lus 1 en lus 2 gemeten, bij proef 2 alleen lus 1, omdat bij proef 2 na een bepaalde tijd de metingen onnauwkeurig werden door het vastvriezen van het meetinstrument. Grafiek 2 geeft de laatste meting weer van proef 1 en proef 2 over de eerste lus. De laagst gemeten temperatuur bij proef 1 bedroeg (bij een omgevingstemperatuur van $18,1^{\circ}\text{C}$) $+25,4^{\circ}\text{C}$. De laagst gemeten temperatuur bij proef 2 bedroeg (bij een omgevingstemperatuur van $-20,5^{\circ}\text{C}$) $-2,7^{\circ}\text{C}$. De laagst gemeten temperaturen zijn uitgezet tegen de omgevingstemperaturen in grafiek 3. Tussen punt -20°C en $-2,7^{\circ}\text{C}$ en punt $18,1^{\circ}\text{C}$ en $25,4^{\circ}\text{C}$ is een rechte getrokken lijn.

Conclusie:

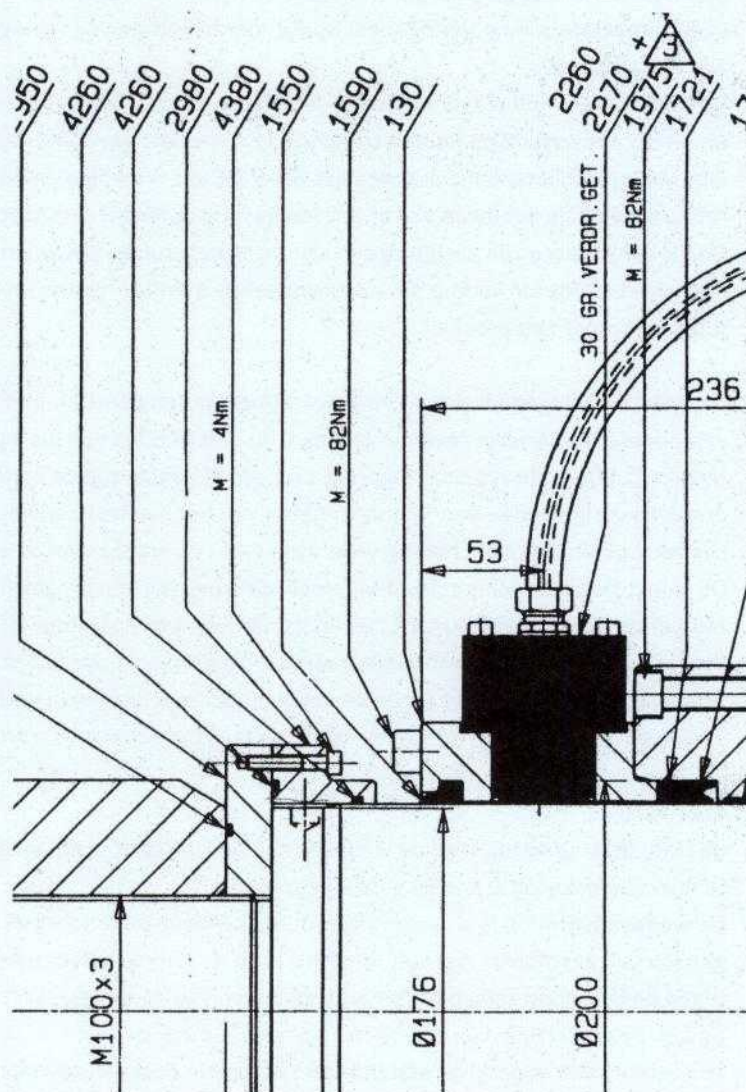
de laagste temperatuur aan de voorzijde van de kunststof plaat zal bij een temperatuur van -15°C precies $+1,3^{\circ}\text{C}$ bedragen.

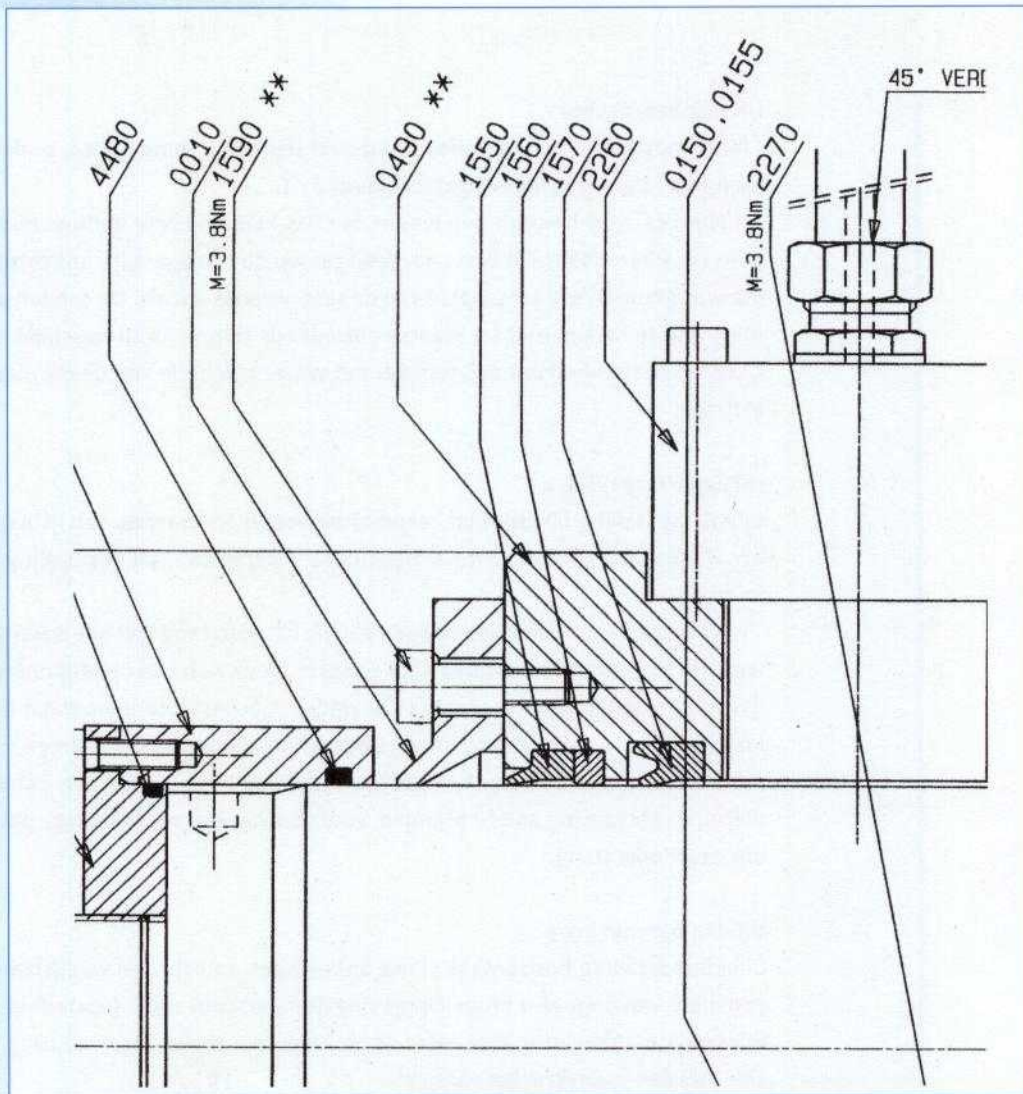
De wandverwarming is als volgt uitgevoerd: UHMWPE-platen met de afmetingen $15 \times 500 \times 2500 \text{ mm}$ zijn met roestvast stalen verzonken boorankertjes tegen de betonnen zijwanden en achterwanden van de roldeurkassen bevestigd. In de achterzijde van de UHMWPE-platen zijn vier horizontale sleuven gefreesd op een onderlinge afstand van 120 mm . In deze sleuven zijn in lusvorm waterbestendige verwarmingskabels aangebracht. Iedere lus kan afzonderlijk worden bekrachtigd.

Schematische weergave
van een hydraulische cilinder
met een niet deugdelijke
ijsschraper.

Ijsbestrijding bij de hydraulische cilinders van de deurschuifbewegingswerken van de Grote Merwedeluis en de Grote Sluis Vianen

Tijdens de winter van 1996-1997 bleek het wegmeetsysteem van de hydraulische deurschuifbewegingswerken van de Grote Merwedeluis en de Grote Sluis Vianen geregeld uit te vallen. De hydraulische cilinders van deze sluizen zijn uitgerust met een CIMS-wegmeetsysteem van de firma Hydraudyne. Steeds als zich een storing voordeed, werd een storingsmonteur van Hydrocare opgeroepen, maar als deze na enige tijd arriveerde, werkte de installatie weer perfect. Toen dit enkele keren achter elkaar was voorgevallen, vond een nadere inspectie plaats. Daarbij bleek de sensorkamer van het wegmeetsysteem vol water te staan. Al snel werd toen de conclusie getrokken dat de stangafdichtingen van de cilinders niet deugdelijk waren.





Verdere ijsbestrijdings-
maatregelen

33

Aangezien de cilinders met de stangen in het water hangen, vermoedde men dat onder de afstrijker en de afdichting door een waterfilm was binnengeslipt, waardoor zich op termijn water verzamelde op de plaats van de cims-sensor. Bij vorst bevroor dit water, waardoor het cims-signaal wegviel. Na ontdooiing was het signaal weer aanwezig. Dit zou er op wijzen dat de stangafdichtingen niet deugdelijk waren.

Om dit exact te kunnen vaststellen, is met Hydraudyne overeengekomen een proef in te richten. Deze werd uitgevoerd met een door de Dienstkring Merwede ter beschikking gestelde reservecilinder. De proef moest aan de volgende voorwaarden voldoen:

- ▶ De cilinder moest verticaal worden opgesteld met de stang naar beneden.
- ▶ De stang moest gedeeltelijk in water gedompeld kunnen worden.
- ▶ De omgevingstemperatuur moest beneden het vriespunt ingesteld kunnen worden, bij voorkeur tot -20°C .
- ▶ Het cims-signaal moest onder alle omstandigheden gemeten kunnen worden.
- ▶ Tijdens de proef moest men kunnen inspecteren of zich water of ijs bevond in de pakkingflens.

*Schematische weergave van
een hydraulische cilinder met
extra aangebrachte metalen
ijsschraper.*

Uitslag beproeving 1

Cilinderopstelling verticaal met stang naar beneden, stang geheel ondergedompeld in water. Omgevingstemperatuur 22°C.

Na circa 1500 bewegingen was in de cims-kamer in zeer geringe mate condens waarneembaar. Dit was neergeslagen op de transparante afdichtplaat die was gemonteerd ter plaatse van de reserve cims-kamer. De condensvorming had te maken met ter plaatse optredende temperatuurverschillen. Geconstateerd werd dat de afstrijder het water afdoende van de cilinderstang afstreek.

Uitslag beproeving 2

Cilinderopstelling horizontaal, stang uitbewogen en voorzien van ijslaag met een dikte van ongeveer 1 mm. Omgevingstemperatuur -25°C (opstelling in vrieswagen).

Na ongeveer 100 mm inbewegen van de cilinderstang viel het cims-signaal weg. Na het verwijderen van de cims-sensor bleek zich een opeenhoping van ijsschilfers onder de cims-sensor te bevinden. Geconstateerd werd dat de afstrijder het ijs, gevormd bij deze temperatuur, onvoldoende afstreek. Hierna hebben de Bouwdienst en Hydraudyne in overleg besloten om een extra metalen schraapring aan te brengen, voorzien van een nauwkeurige passing om de cilinderstang.

Uitslag beproeving 3

Cilinderopstelling horizontaal, stang uitbewogen en voorzien van ijslaag met een dikte van ongeveer 1 mm. Omgevingstemperatuur -25°C (opstelling in vrieswagen). Afdichting met extra aangebrachte metalen afschraapring voorzien van een nauwkeurige passing.

Na het inbewegen van de cilinderstang werd geconstateerd dat in de cims-kamer geen opeenhoping van ijsschilfers optrad. Het cims-signaal bleef intact. Het afstrijken door middel van de extra gemonteerde metalen schraapring geschiedde naar behoren.

Na de proeven zijn alle deurschuifcilinders op deze manier aangepast.

Deurschuifbewegingswerken van de schutsluis Amerongen

Onder invloed van vorst traden geregeld problemen op bij de deurschuifbewegingswerken van de schutsluizen bij Hagestein, Amerongen en Driel. De bestaande deurschuiven werden bewogen door een heugel/rondselaandrijving. Het bleek dat deze heugel/rondselaandrijving de oorzaak was van de problemen.

De tandholten van de tandheugels vulden zich met ijs. Daardoor bogen bij het bewegen van de tandheugels de geleiderollen uit en werden de A-constructies vervormd. Dit veroorzaakte ernstige schade aan de deurschuifbewegingswerken.

De Dienstkring Rijn en Lek heeft de Bouwdienst gevraagd deze deurschuifbewegingswerken te vervangen. De nieuwe deurschuifbewegingswerken



Het benedenhoofd van de
schutsluis Amerongen uit-
gerust met deurschuiven die
bewogen worden door een
heugel.

Een overzicht van het
zogenaamde 'deurschuif-
bewegingswerk' op de punt-
deuren van het benedenhoofd
van de schutsluis Amerongen.

Hydraulisch 'deurschuif-
bewegingswerk' zoals dat wordt
toegepast op de puntdeuren
van het benedenhoofd bij de
schutsluis Amerongen.

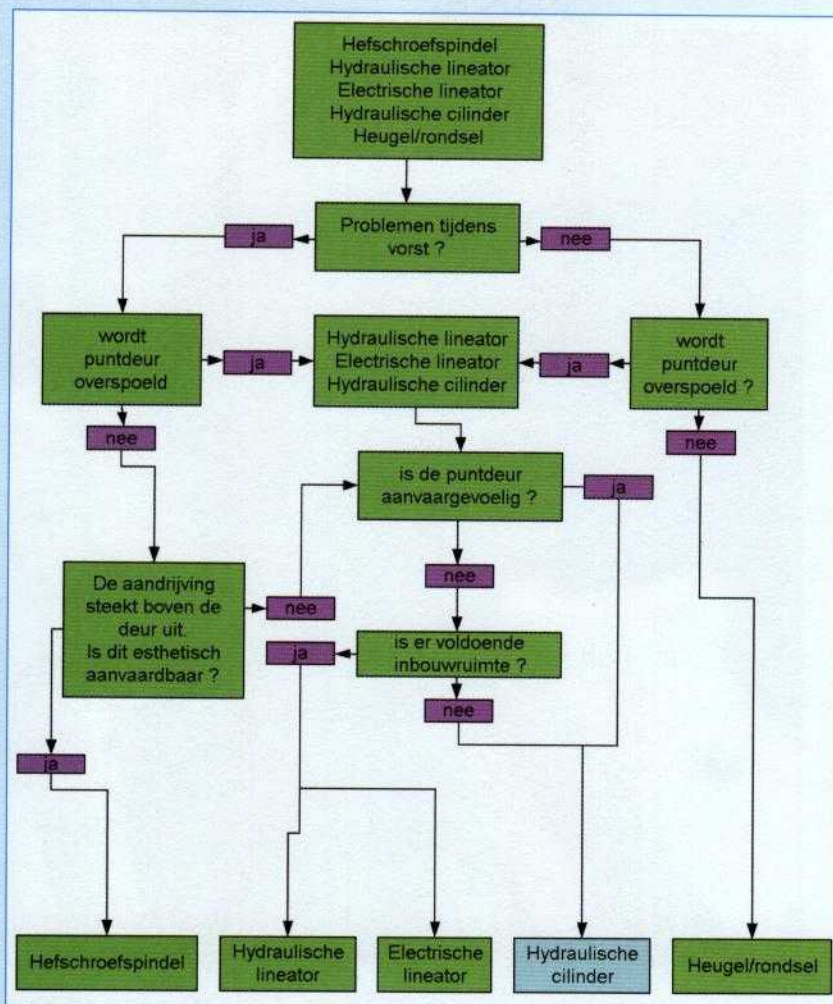
moesten echter wel geschikt zijn voor de bestaande elektrische
besturing van de sluis, alsmede voor de besturing die was voorzien
na de geplande renovatie van de stuw- en sluiscomplexen. Om tot
een gemotiveerde keuze voor het type deurschuifbewegingswerken
te komen, heeft het projectteam voor de ijsbestrijding bij de stuw-
en sluiscomplexen in de Nederrijn en Lek een keuzestroomschema
ontworpen, zoals afgebeeld op de volgende pagina.

De keuze is gevallen op een hydraulische deurschuifbeweging.
Voor de drie schuifbewegingen per deur zijn drie hydraulische
cilinders nodig. Deze worden gevoed door een hydraulische unit.
Een hydraulische unit bestaat in hoofdzaak uit een combinatie
van een hydraulische pomp met elektromotor, een kleppenblok
en een hydraulische tank. De unit is opgesteld in een afgescheiden
ruimte.

Iedere hydraulische cilinder scharniert aan een stoel die op de
deur is bevestigd. De stangzijde van iedere hydraulische cilinder



is met een aangeflensde koppelstang aan de deurschuif gemonteerd door middel van een cardanische bevestiging.



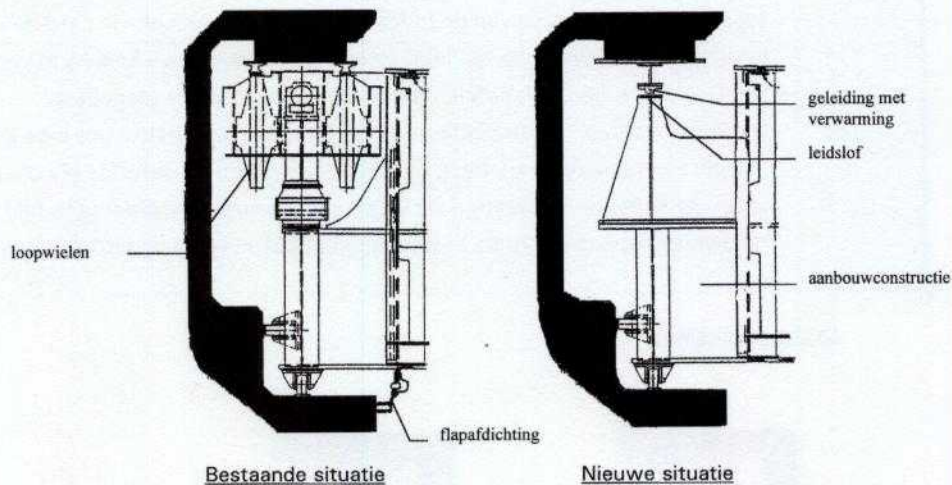
Niet rollen, maar glijden

Sluizen met hefdeuren hebben bij vorst nogal eens problemen met de loopwielen van de hefdeuren. Het vervangen van de loopwielen door een systeem met glijsoffen kan een oplossing zijn voor de problemen. Als voorbeeld geven we hier het advies dat door de Bouwdienst is gegeven aan de Dienstkring Twenthe-kanalen voor de schutsluizen van Eefde en Delden.

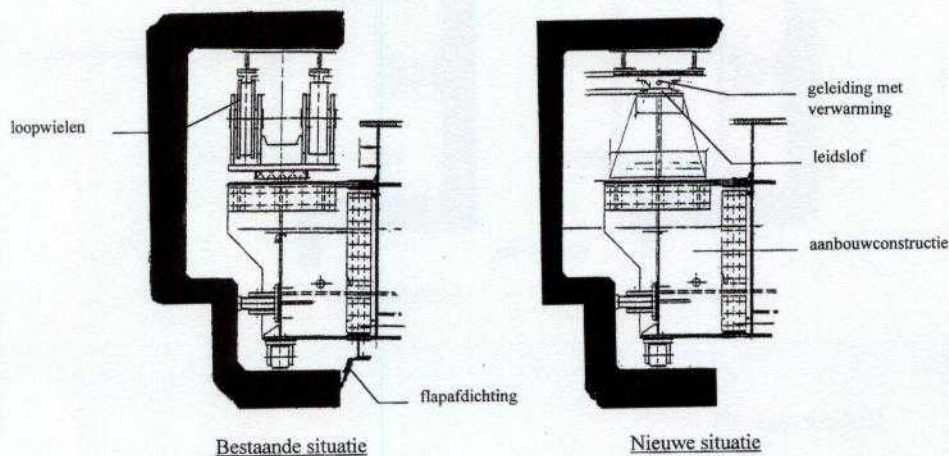
Bij de schutsluizen van Eefde en Delden ontstaan geregeld problemen met de loopwielen van de hefdeuren. Grote slijtage treedt op aan de loopwielen en aan de geleiderails. Tijdens vorstperioden is er van rollen van de loopwielen geen sprake meer. Er vormt zich dan een groot blok ijs om de wielen, dat bij het heffen en dalen mee omhoog en omlaag glijdt.

Zeker bij de bovenste loopwielen is dit mede te wijten aan het systeem van afdichten van de hefdeuren. Het afdichten van de hefdeuren geschiedt door

Eefde benedenhoofd



Eefde bovenhoofd



middel van afdichtingsflappen tegen de betonnen zijwanden van de sluis. Bij vorst vormen zich ijskragen op deze zijwanden en kan de afdichting niet behoorlijk afsluiten. Hierdoor ontstaat veel spatwater, dat op zijn beurt weer befrist en voor nog meer ijsoverlast zorgt.

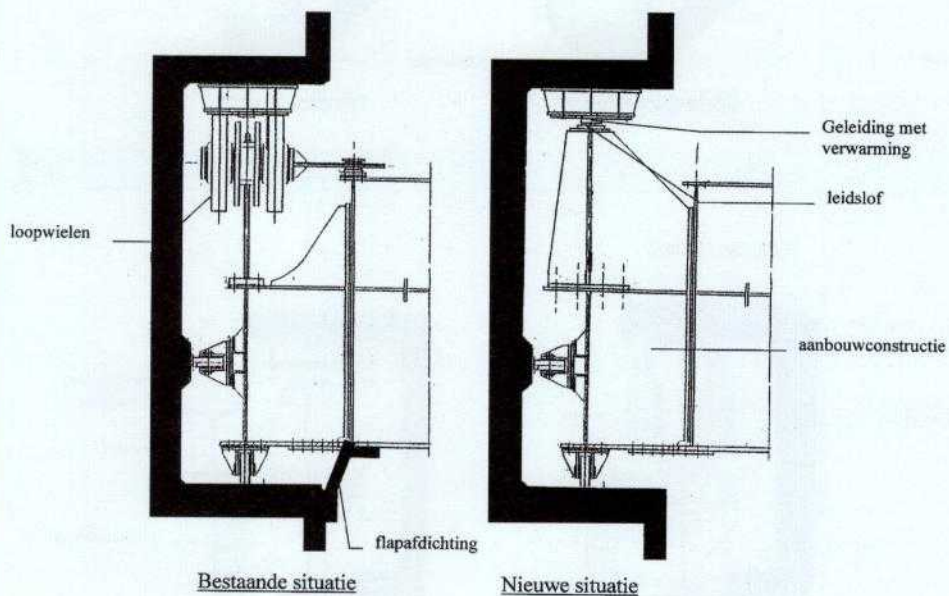
De Dienstkring Twenthe-kanalen heeft de Bouwdienst gevraagd of het mogelijk is het systeem van hefdeurgeleiding door middel van loopwielen te vervangen door een systeem met glijsoffen. Het probleem van het slechte functioneren van de afdichtingen zou dan gelijk kunnen worden meegenomen. Een dergelijk systeem is inderdaad met succes toegepast bij de hefdeuren van de Kreekkraksluizen.

Advies

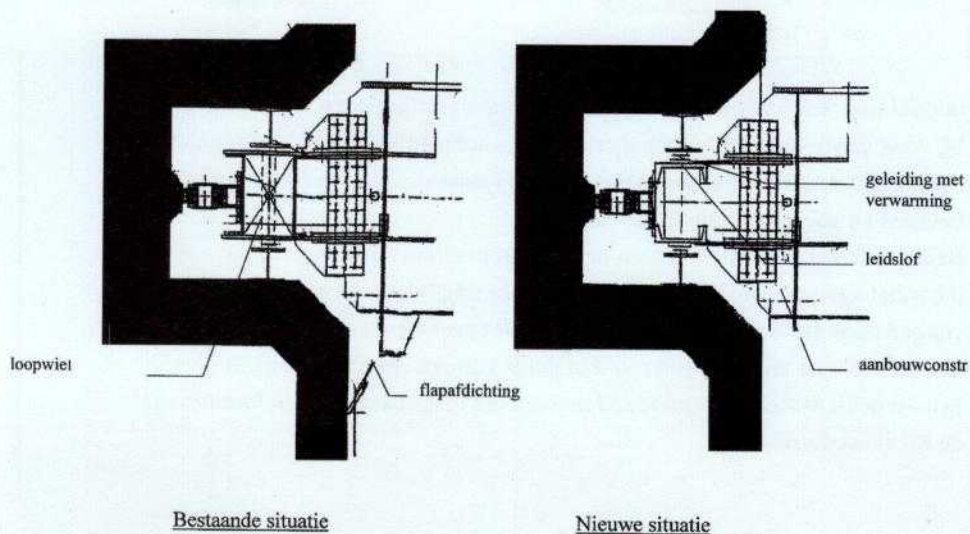
De bestaande loop- en leidwielen komen te vervallen. Ook de constructies die tegen de 'kopse' kanten van de hefdeuren zijn aangebracht – in casu de verbindings tussen de loop- en leidwielen en de hefdeuren – komen te vervallen. Ook de rubberen flapafdichtingen worden niet meer toegepast.

De 'kopse' kanten van de hefdeuren krijgen aanbouwconstructies over de hele hoogte van de hefdeuren. Deze constructies worden op dezelfde plaatsen tegen de hefdeuren bevestigd als de eerst toegepaste verbindings met de loopwielconstructies. Op de bestaande in te betonneren onderdelen van de

Delden benedenhoofd



Delden bovenhoofd



looprails wordt een grondplaat aangebracht met daarop een kunststof geleidestrip. In deze strip wordt een verwarmingskabel aangebracht.

Om de afstand tussen de nieuwe aanbouwconstructie en de kunststof geleiding te overbruggen, wordt over de hele hoogte van de aanbouwconstructie een console aangebracht. Hierop is eveneens een over de hele hoogte doorlopende glijstof gemonteerd. De verticale afdichting wordt nu gerealiseerd door de glijstof en de geleiding.

De horizontale afdichting tussen de hefdeur en de drempel blijft gehandhaafd. Wel moet speciale aandacht worden besteed aan de verbinding tussen de bestaande horizontale afdichting en de nieuwe verticale afdichting. Hiertoe kan beneden in de hefdeurnis een grondconsole worden aangebracht, die de verbinding maakt tussen de horizontale en verticale afdichting.

Hefkrachten

Roestvaststalen glijsloten op hakorite geleidingen zorgen voor een degelijke geleide-afdichting. Bovendien zal de benodigde trekkracht voor het heffen van de sluisdeuren bij glijsloten nauwelijks afwijken van de situatie met loopwielen. Om dit aan te tonen is een vergelijking gemaakt tussen de optredende rolweerstand/afdichtingswrijving in de oude en de geleiding/afdichtingswrijving in de nieuwe situatie.

Uitgaande van een redelijk hoge vlaktedruk voor UHMWPE (hakorite) op roestvaststaal, natte omstandigheden en een (lage) bewegingssnelheid van 5 mm/sec bedraagt de wrijvingscoëfficiënt 0,08. Dit resulteert in nagenoeg gelijke hefkrachten.

Voordelen nieuwe situatie

Bij gelijkblijvende hefkrachten biedt een glijstelsel meerdere voordelen in vergelijking met een stelsel met loopwielen:

- geen draaiende delen onder water, dus onderhoudsvriendelijker;
- gewichtsbesparing;
- geen smering onder water, dus milieuvriendelijker;
- minder ijsproblemen tijdens vorstperioden, want de geleiding is verwarmd;
- de rubberen flapafdichting vervalt;
- geen lekkage meer langs rubberen flapafdichtingen bij vorst;
- eenvoudige constructie.

Ijsbestrijding bij het stuwcomplex Amerongen

Een heel eigen problematiek op het gebied van ijsbestrijding zien we bij de stuwcomplexen in de Nederrijn en Lek bij Hagestein, Amerongen en Driel. De stuwen zijn uitgerust met stalen vizieren. De beplatingskant van deze stalen vizieren bevindt zich aan de bovenstroomse zijde, de open constructie bevindt zich aan de benedenstroomse zijde.

In de winter kan het voorkomen dat de vizieren van de stuwcomplexen moeten worden geheven in verband met het reguleren van de waterstand in de Nederrijn en Lek. Bij strenge vorst kan dat problemen opleveren. De rivier



*De bovenstroomse
zijde van het zuidelijke
vizier van het stuw-
complex Amerongen is
volledig dicht gevoren.*

*Aan de open-constructiezijde
van het zuidelijke vizier van
het stuwcomplex Amerongen
is nagenoeg geen ijsvorming.*

vriest dan aan de bovenstroomse kant van de vizieren volkomen dicht. Er vormt zich een behoorlijk dikke ijslaag, die zich doorzet tot in de bogen van de stalen vizieren.

In eerste instantie werd gevreesd dat in zo'n situatie de vizierbogen zouden vastvriezen. Dit bleek bij meerdere inspecties tijdens de vorstperiode van 1996-1997 echter niet het geval te zijn. De druk van het ijs tegen de beplating van het vizier blijkt zo groot te worden dat het ijs smelt. Er vormt zich als het ware een waterlaagje tussen de stalen plaat en de ijslaag, waardoor de ijslaag aan bovenstroomse zijde nooit vast zal vriezen aan het vizier.

Aan de benedenstroomse zijde, aan de kant van de open constructie van het vizier, treedt nagenoeg geen ijsvorming op. Dit is duidelijk waar te nemen op de foto, die genomen is tijdens de strenge vorstperiode van 1996-1997.

Wezenlijk grotere problemen treden op wanneer de vizieren in zo'n situatie geheven moeten worden. Het zich aan bovenstroomse zijde van het vizier bevindende ijs breekt en schiet samen met het zich op de rivier bevindende drijfijis onder de vizierboog door. Het onder de vizierboog door stromende water wordt aan de benedenstroomse kant niet snel genoeg afgevoerd, waardoor benedenstrooms, ongeveer 15 meter achter het vizier, een waterstandsverhoging ontstaat.



IJSPROBLEMEN BIJ DE STUWEN

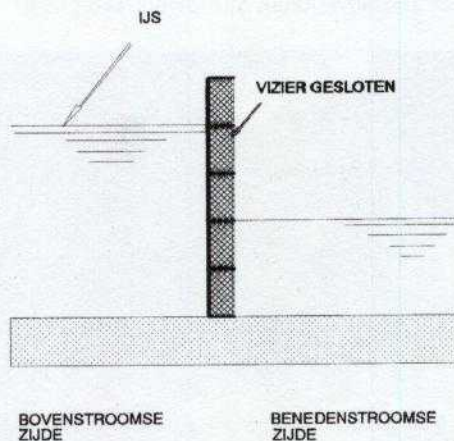


FIG. 1

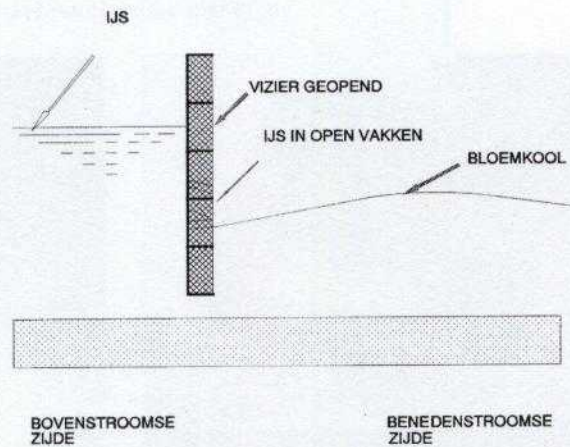


FIG. 2

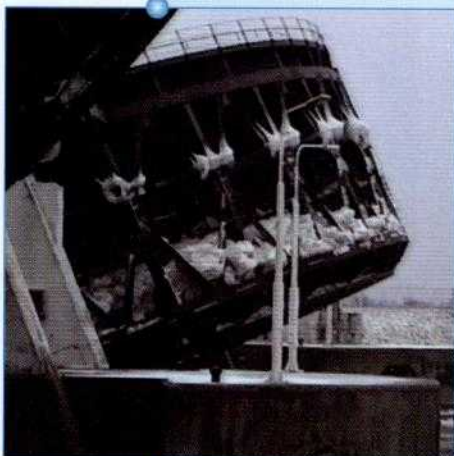


Schematische weergave van het gedrag van het ijs bij het openen van een vizier.

Bij het heffen van het vizier ontstaat waterstandsverhoging, ook wel 'bloemkool' genoemd.

Hierdoor glijdt er drijfs in de open constructie van het vizier.

Het eveneens onder het vizier door komende drijfijls kan deze waterstandsverhoging (ook wel 'bloemkool' genoemd) niet passeren en glijdt hiervan af, de open constructie van het vizier binnen. In korte tijd is het vizier vol geladen met drijfijls. Een gevolg hiervan is dat het viziergewicht enorm toeneemt en de bewegingswerken niet meer in staat zijn om het vizier te heffen.



Het zuidelijke
vizier van het
stuwcomplex

*Amerongen is moeizaam ge-
opend. De resten drijfijis in de
open constructie zijn duidelijk
te zien.*

*Na het openen van het vizier is
de open-constructiekant van
het zuidelijke vizier van het
stuwcomplex Amerongen vol
gelopen met drijfijis.*



Om te voorkomen dat er bij het heffen van het vizier drijfijis in de open constructie terecht komt, is het mogelijk om de open constructie af te sluiten, bijvoorbeeld door het aanbrengen van afschermplaten of roosters. Een groot

nadeel hiervan is dat het gewicht van het vizier flink toeneemt. Weliswaar blijft het vizier nu vrij van drijfijis, maar dit effect wordt teniet gedaan door het aanbrengen van de platen of roosters. Dit zou dus geen goede oplossing zijn.

De Bouwdienst Rijkswaterstaat kwam met het idee om in de open constructies van de vizieren kunststof drijvers aan te brengen. Om dit idee op zijn deugdelijkheid te testen is samen met de dienstkring Rijn en Lek een proef met drijvers ingericht bij het zuidelijke vizier van het stuwcomplex bij Amerongen. De afmetingen van de drijver waren 3500 x 1500 x 1350 mm. De drijver was opgebouwd uit een pur-schuim blok waaromheen een laag van met glasvezel versterkt laminaat was aangebracht. Het inbrengen van de drijver bleek echter onmogelijk. Het kraanschip was niet in staat de kunststof drijver zo ver onder water te drukken, dat de drijver onder de vakwerkspanten door in de open constructie van het vizier terecht kwam.

Bijkomende factor was dat de waterstand aan benedenstroomse zijde 500 mm hoger was dan berekend. Samen met de principaal van de dienstkring is besloten de proef met deze drijver te stoppen. De drijver zou aanvankelijk worden aangepast zodat hij dieper in het water zou komen te liggen en gemakkelijker zou zijn in te brengen. Uiteindelijk bleek het goedkoper te zijn een nieuwe drijver te maken dan de bestaande drijver aan te passen. Het inbrengen van de nieuwe drijver lukte duidelijk beter. Om het inbrengen te vergemakkelijken is door de hoofdsluismeester aan benedenstroomse zijde het waterpeil verlaagd naar 2,75+*NAP*. Wel moest nog behoorlijk met de giek van het kraanschip op de drijver worden gedrukt, zodat deze iets verder in het water kwam te liggen en zo de spanten van het vakwerk van de open constructie kon passeren.

Om te voorkomen dat de drijver uit het vak wegdreef, waren aan de voorkant twee borgplaten bevestigd. De borgplaten dienden er tevens voor om de drijver in het vak te centreren. Gedurende een maand is de drijver goed in het vak blijven zitten, maar het ging mis toen het vizier moest worden geheven in verband met de waterstandregulering.

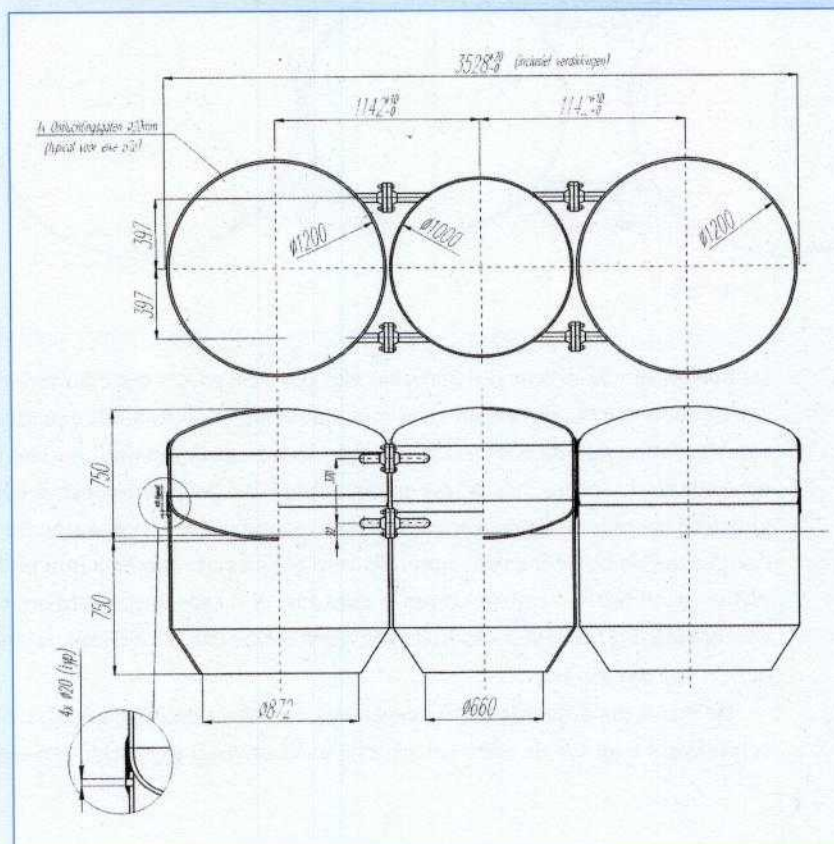
Bij deze manoeuvre raakte de drijver uit het vak. Door de golfslag heeft de drijver een tijd lang tegen de spanten van het vizier liggen bonken, waardoor de drijver ernstig beschadigd raakte. Toen de drijver uit het water werd gehaald, bleek dat de rechter borgplaat was losgeraakt. Van de zes bouten in deze borgplaat was er nog één aanwezig, waardoor de borgplaat naar beneden was gedraaid en zijn functie volledig had verloren.

Samen met de principaal is besloten de schade aan de drijver te laten vaststellen en een besluit te nemen over de verdere continuering van de proef.

Na het vaststellen van de schade bleek het wederom het goedkoopst te zijn om een nieuwe drijver te maken. Bij het ontwerp voor deze laatste versie is nog eens extra gekeken naar het inbrengen van de drijver.

Het uiteindelijke resultaat was erop gericht dat het inbrengen van de drijver niet meer afhankelijk was van de waterstand aan benedenstroomse zijde van het vizier. Eventuele borgplaten die aan de drijver werden bevestigd, moesten gegarandeerd niet meer los kunnen raken.

Bij het nieuwe ontwerp is gekozen voor een drijver die opgebouwd is uit drie gedeelten. De delen vormen als het ware drie boeien, die naast elkaar en onderling gekoppeld in het water drijven. Bij het inbrengen van de drijver



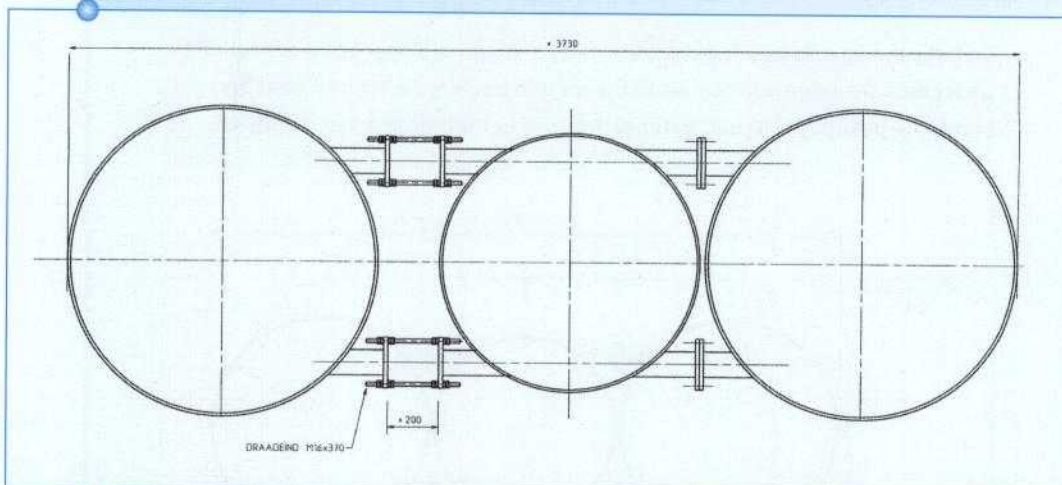
Schematische weergave van
een nieuwe kunststof drijver.

kunnen de 'stukken' afzonderlijk in de open constructie van het vizier worden geduwd en dan aan elkaar worden gekoppeld.

In de open constructie van het zuidelijke vizier van het stuwcomplex te Amerongen is een nieuwe kunststof drijver bevestigd. Deze is samengesteld uit drie gekoppelde boeien.



Schematische weergave van de verbinding tussen boei 2 en boei 3. De boutverbinding is vervangen door een instelbare draadstangverbinding.



De boeien van de drijver zijn gemaakt van GRP-buizen. De twee buitenste buizen hebben een diameter van 1200 mm, de middelste buis heeft een diameter van 1000 mm. Aan de bovenkant zijn deze buizen gesloten door middel van einddeksels. In iedere buis is tevens een einddeksel gelijk om een drijvend gedeelte te creëren. De drie boeien drijven rechtstandig in het water. De hoogte van de boeien is 1500 mm: 700 mm boven water en 800 mm onder water. De onderrand van de buizen is over 200 mm taps uitgevoerd om te voorkomen dat de onderrand in de vakwerkconstructie blijft haken bij het heffen van het vizier.

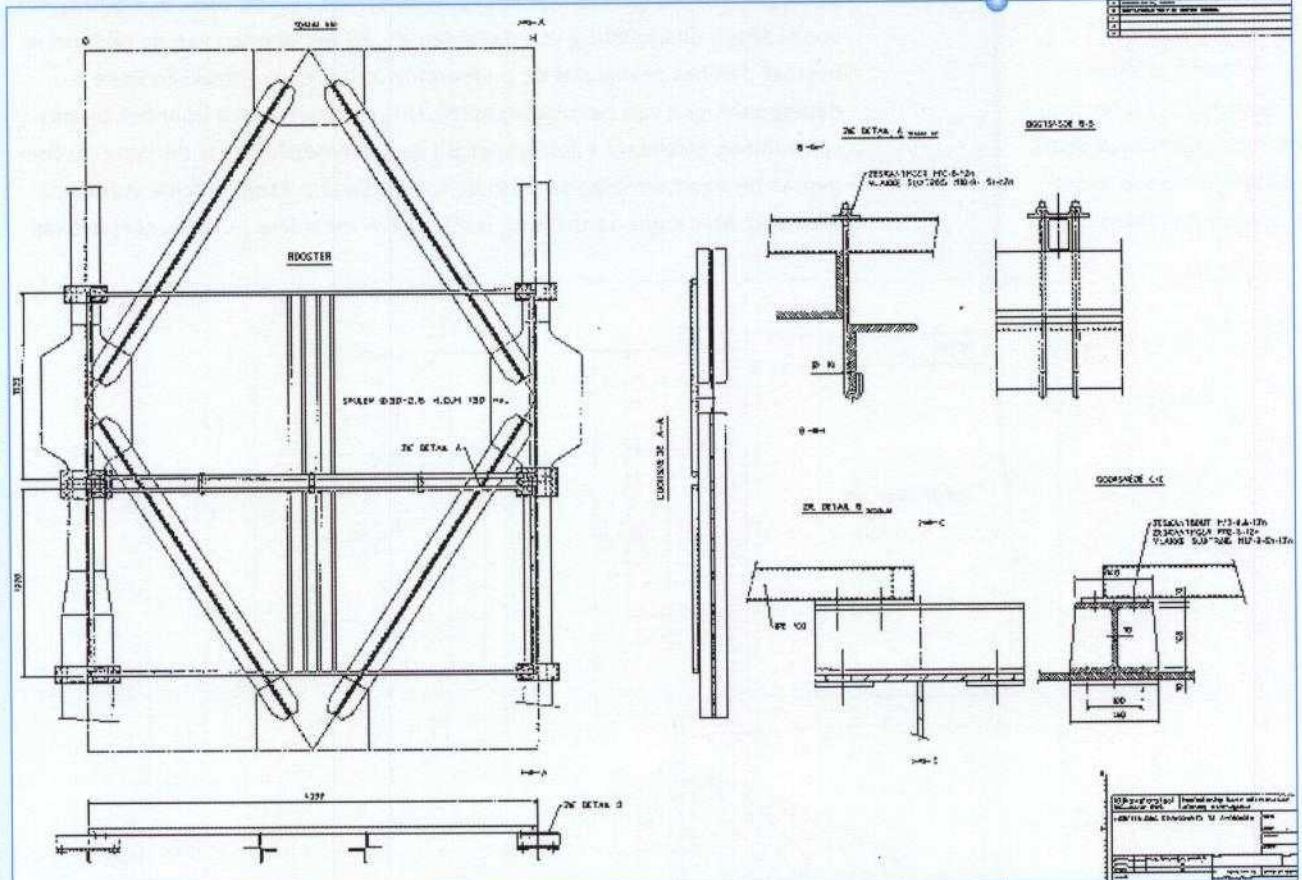
De drie losse drijverdelen of boeien zijn niet afzonderlijk geplaatst. Als eerste werd boei 1 in de open constructie van het vizier gebracht. Vervolgens

zijn de boeien 2 en 3 op het hefschip samengesteld en in de open constructie gebracht. Pas hierna is boei 1 aan de combinatie boei 2+3 bevestigd in de open constructie van het vizier.

De waterstand was op het moment dat de drijverdelen werden ingebracht 4+NAP. Dat is ongeveer een meter hoger ten opzichte van de normale waterstand. Desondanks verliep de montage vlot, zodat geconcludeerd kan worden dat de montage van de drijver inderdaad onafhankelijk van de waterstand is geworden, zoals de eis was.

Na de montage bleek de drijver echter toch wel ruim in het vak (vak H) te passen. Praktisch gezien moest hij lang genoeg zijn om achter de spanten te blijven zitten, doch bij het heffen van het vizier dreef de drijver dan toch uit het vak. Groot was echter de verbazing toen na een tijdje bleek dat de drijver zich perfect passend in het vak aan de noordzijde van het zuidelijke vizier bevond (vak G).

*Schematische weergave van
een vizier met rooster.*



Om het uitdrijven van de kunststof drijver te voorkomen, zou deze in de lengterichting moeten worden aangepast. Daarop is de drijver in de lengterichting instelbaar gemaakt. Dit kon worden gerealiseerd door de boutverbindingen tussen boei 2 en boei 3 van de drijver te vervangen door rvs-draadstangen met aan beide kanten van de flenzen dubbele moeren (borging). Na deze aanpassingen paste de drijver perfect in het vak. Besloten werd de

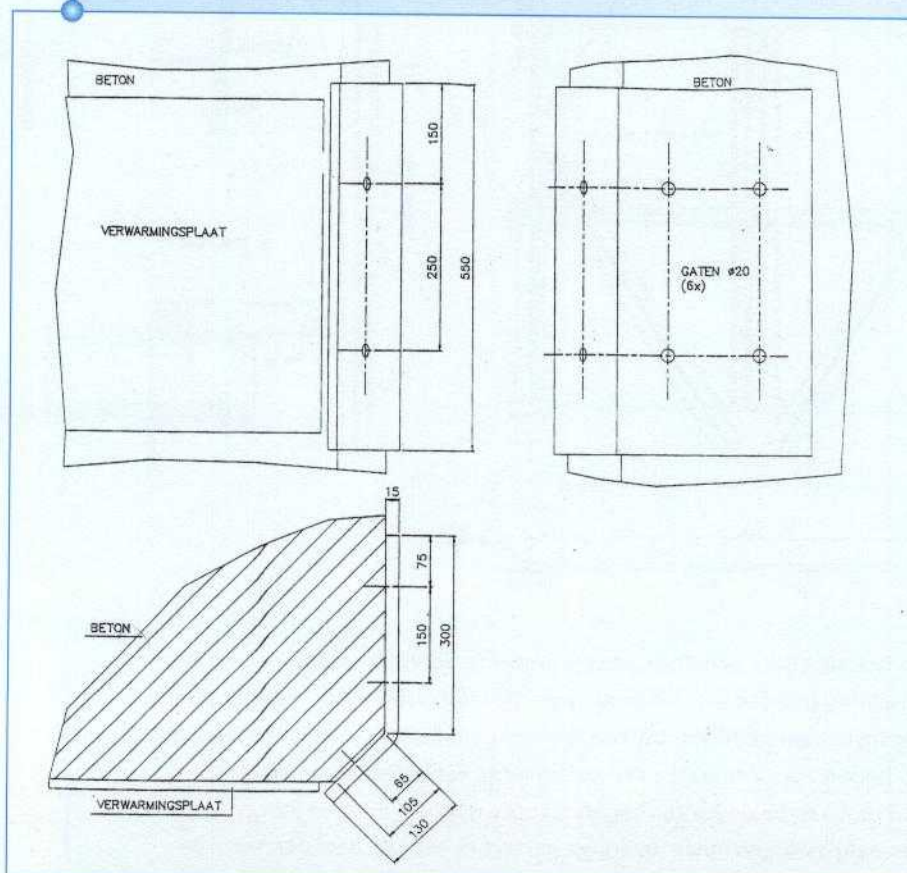
*Schematische weergave van
een ijsschaaf of -schraper zoals
deze toegepast is bij de deur-
spooningen van de roldeur-
kassen bij de Krammersluizen.*

drijver een tijd in dit vak te laten zitten om te bekijken hoe deze zich zou gedragen bij het openen en sluiten van het vizier. Na een half jaar bleek dat de kunststof drijver toch kwetsbaar was. Door de golven die ontstaan bij het heffen en dalen van het vizier bonkt de drijver flink heen en weer en stoot daarbij vrij hard tegen de stalen wanden van het vizier. Hierdoor raakte de drijver op den duur ontoelaatbaar beschadigd.

De conclusie is dat het idee van een drijver in principe wel werkt, maar door zijn kwetsbaarheid geen lange standtijd heeft. Als alternatieve oplossing wordt nu voor het zelfde vak een rooster geplaatst. Het achterliggende idee blijft net als bij de kunststof drijver om de open constructie van het vizier vrij van drijfijis te houden.

Ijsbestrijding door middel van een ijsschaaf

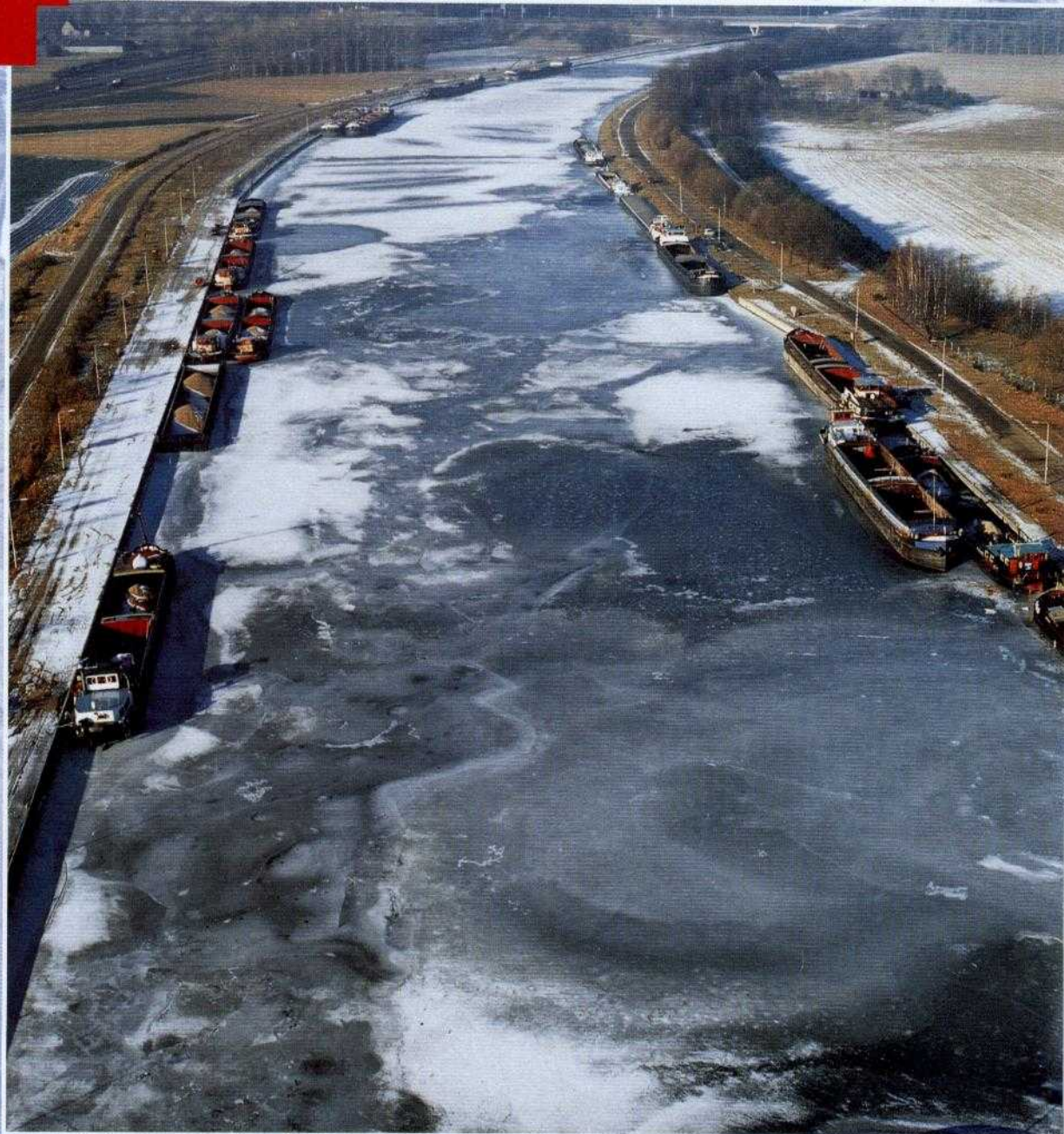
Bij sluizen met roldeuren kan het voorkomen dat zich bij vorst een ijskraag vormt tegen de beplating van de roldeuren. Bij het openen van de roldeuren bestaat dan het gevaar dat de roldeuren worden klem getrokken in de deursponningen van de roldeurkassen. Dit is te voorkomen door het toepassen van een ijsschaaf of ijsschraper. Bij de Krammersluizen is dit systeem toegepast ter bescherming van de in de roldeurkassen aangebrachte wandverwarming. Met enige aanpassing is dit idee in meerdere gevallen toepasbaar.



Uitgevoerde

4

ijsbestrijdingsmaatregelen



Ijsbestrijding bij het naviduct van het Krabbersgat

Het naviduct Krabbersgat omvat twee sluizen die uitgerust worden met puntdeuren. In de oostelijke naviductsluis worden ijsbestrijdingsvoorzieningen aangebracht in zowel het noordelijke als het zuidelijke sluishoofd. In de westelijke naviductsluis worden alleen de basisvoorzieningen aangebracht. Het betreft hier voornamelijk de nog in te betonneren doorvoeringen, de mantelpijp en de bevestigingsstoelen voor de gaatjespijp. Zo kan de westelijke sluis eventueel in een later stadium alsnog gemakkelijk worden uitgerust met ijsbestrijdingsvoorzieningen.

Ijsbestrijdingsmaatregelen in de puntdeurkassen

Het uitgangspunt bij het nemen van ijsbestrijdingsmaatregelen is dat een sluis moet blijven functioneren zolang de vaarweg waarin de sluis is gesitueerd bevaarbaar is.

Om de puntdeuren tijdens vorstperioden beweegbaar te houden, worden de puntdeurkassen uitgerust met kasblaasinstallaties. De kasblaasinstallaties zorgen ervoor dat de puntdeurkassen vrij van drijfijis blijven en dat de achterharren van de puntdeuren niet vastvriezen.

Een kasblaasinstallatie is opgebouwd uit de volgende componenten: een compressor, een luchtketel, een regelinstallatie, het leidingwerk en een luchtbellenscherm (gaatjesbuis).

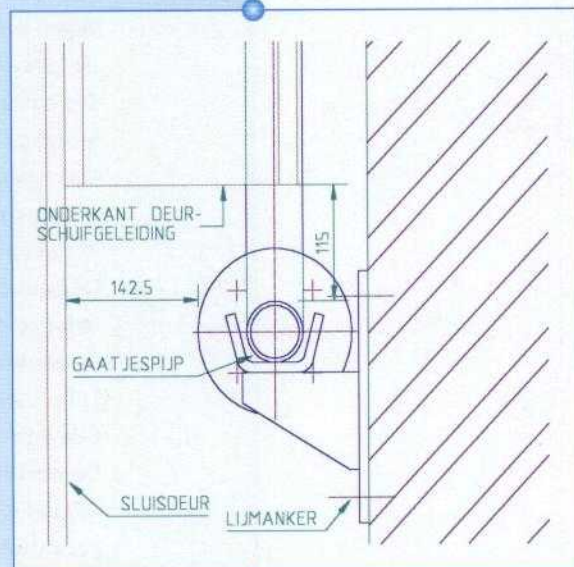
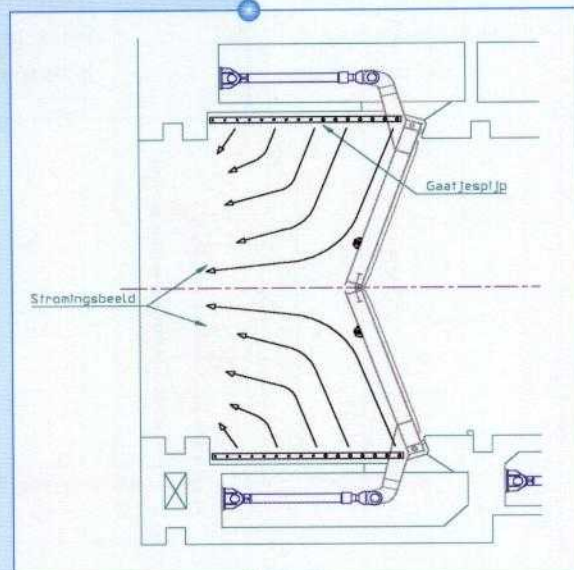
De gaatjespijp van de kasblaasinstallatie loopt over de hele lengte van de puntdeurkas en is circa 6,5 meter lang. De onderlinge afstand van de uitstroombaatjes over de lengte van de kasblaaspijp is regelmatig, echter de diameter van de uitstroombaatjes varieert. Aan de draaipuntzijde van de puntdeur zijn de gaatjes het grootst, naarmate ze verder van het draaipunt vandaan komen, nemen ze in doorsnee af. Hierdoor wordt een waterstroom gecreëerd uit de puntdeurkas en bij de puntdeuren vandaan. Het drijfijis wordt op deze manier van de puntdeurkassen en de puntdeuren weggehouden.

De horizontale leiding met de uitstroombaatjes moet een GRP-leiding (kunststof) zijn. Bij stalen leidingen bestaat de kans dat de uitstroombaatjes dicht vriezen, bij GRP-leidingen gebeurt dit niet. Aan het einde van de gaatjespijp is een verticale leiding aangebracht. Deze is aan het uiteinde voorzien van een afsluiter. Dit biedt de mogelijkheid de kasblaasinstallatie bij vervuiling 'door te blazen'.

Ijsbestrijdingsmaatregelen in de sluiscolk

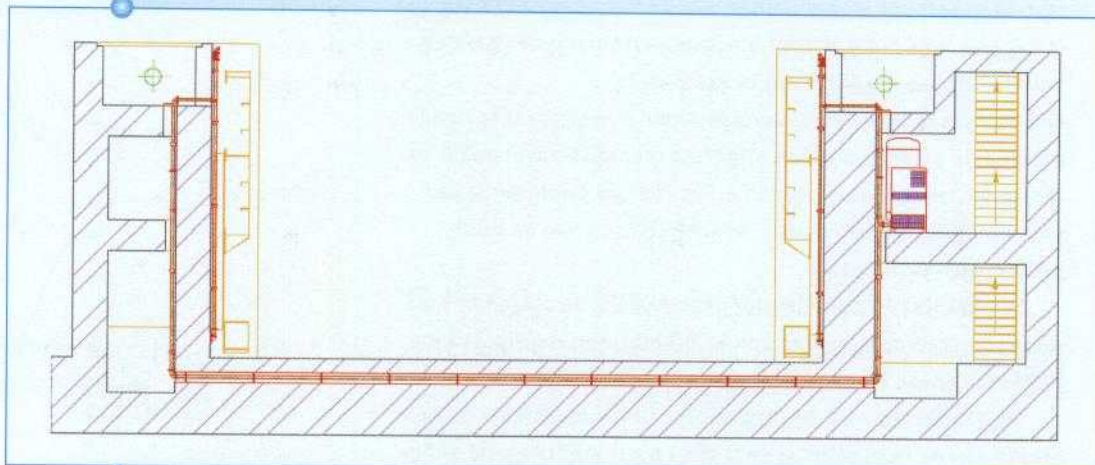
Bij het naviduct Krabbersgat zijn voorzieningen aangebracht om de puntdeuren van de oostelijke naviductsluis ijsvrij te houden en drijfijis binnen de draaikolken van de puntdeuren weg te houden.

Schematisch weergegeven
bovenaanzicht van een sluis-
hoofd met stromingsbeeld
nadat een kasblaasinstallatie
is geïnstalleerd.



Schematische weergave van
de bevestiging van de gaatjes-
pijp van de kasblaasinstallatie
in de puntdeurkas.

*Schematisch weergegeven
doorsnede over de sluiskolk.
Te zien zijn de compressor-
opstelling en de plaats van de
whirlschermen langs de
sluiskolkwanden.*



Bij regelmatig gebruik van de sluis, dat is enkele malen per dag, zullen bovengenoemde voorzieningen voldoende zijn om de oostelijke sluis in bedrijf te houden. De scheepvaart in de sluis zorgt er in dat geval voor dat het water in de sluiskolk in beweging blijft, waardoor het water weinig kans krijgt te bevriezen.

Strengere vorst in combinatie met weinig scheepvaartbewegingen verhoogt echter de kans dat de sluiskolk toch dicht vriest, ondanks de hierboven genoemde maatregelen. Om deze situatie te voorkomen, zijn extra voorzieningen in de sluiskolk aangebracht in de vorm van whirlschermen. Hierdoor wordt ijsvorming in de sluiskolk voorkomen en het aantal dagen stremming bij langdurige en strenge vorst tot nul gereduceerd.

Tegen beide kolkwanden is over de hele kolk lengte op een halve meter vanaf de kolkvloer een leiding gemonteerd.

Die halve meter is om te voorkomen dat de werking van de whirlschermen wordt geblokkeerd door slibophoping.

Op regelmatige afstanden van elkaar zijn gaatjes in de genoemde leidingen geboord waardoor lucht wordt geblazen. De benodigde lucht wordt geleverd door een compressor.

De benodigde hoeveelheid lucht per meter kolk lengte is gering, omdat een 'whirlscherm' geen drijfijz hoeft te verwijderen zoals de kasblaasinstallaties in de puntdeurkassen. De benodigde hoeveelheid lucht bedraagt $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Deze waarde is door het Centraal Punt Ijsbestrijding van de Bouwdienst proefondervindelijk vastgesteld.

De werking van een 'whirlscherm' berust op het omhoog transporteren van relatief warm water dat zich op de bodem van de sluiskolk bevindt en het gecontroleerd in beweging houden van het water in de sluiskolk.

Bij het naviduct zal de afkoeling van het water in de sluiskolk groter zijn dan bij conventionele sluizen. Dat komt omdat de sluiskolk van een naviduct gedeeltelijk niet omgeven is door omsluitend zand – vanwege de onderdoorgang. Als extra maatregel wordt daarom geadviseerd tijdens strenge vorst-

perioden met weinig scheepvaart – de whirlschermen zijn dan operationeel – de sluiskolk één tot twee keer per dag te ‘verversen’. Dit kan geschieden door de deurschuiven te trekken, waardoor relatief warmer water uit de voorhavens in de sluiskolk kan stromen.

Tijdens strenge vorstperioden met veel drijfijs moet men er rekening mee houden dat de nuttige sluiskolk lengte niet volledig benut kan worden. Invarende schepen duwen de ijsschotsen voor zich uit en deze komen dan terecht in de sluiskolk. Het verdient aanbeveling in deze gevallen de ‘stops-treep’ te verleggen, waardoor de nuttige kolk lengte kleiner wordt.

Ijsbestrijding bij de schutsluis Engelen

Tijdens de vorstperiode van 1996-1997 zijn bij de schutsluis Engelen vervormingen opgetreden aan de geleidewerken sectie 4 en sectie 2 voor de recreatievaart. Deze geleidewerken bevinden zich bovenstrooms, aan de zogenaamde Dieze-zijde van het sluiscomplex.

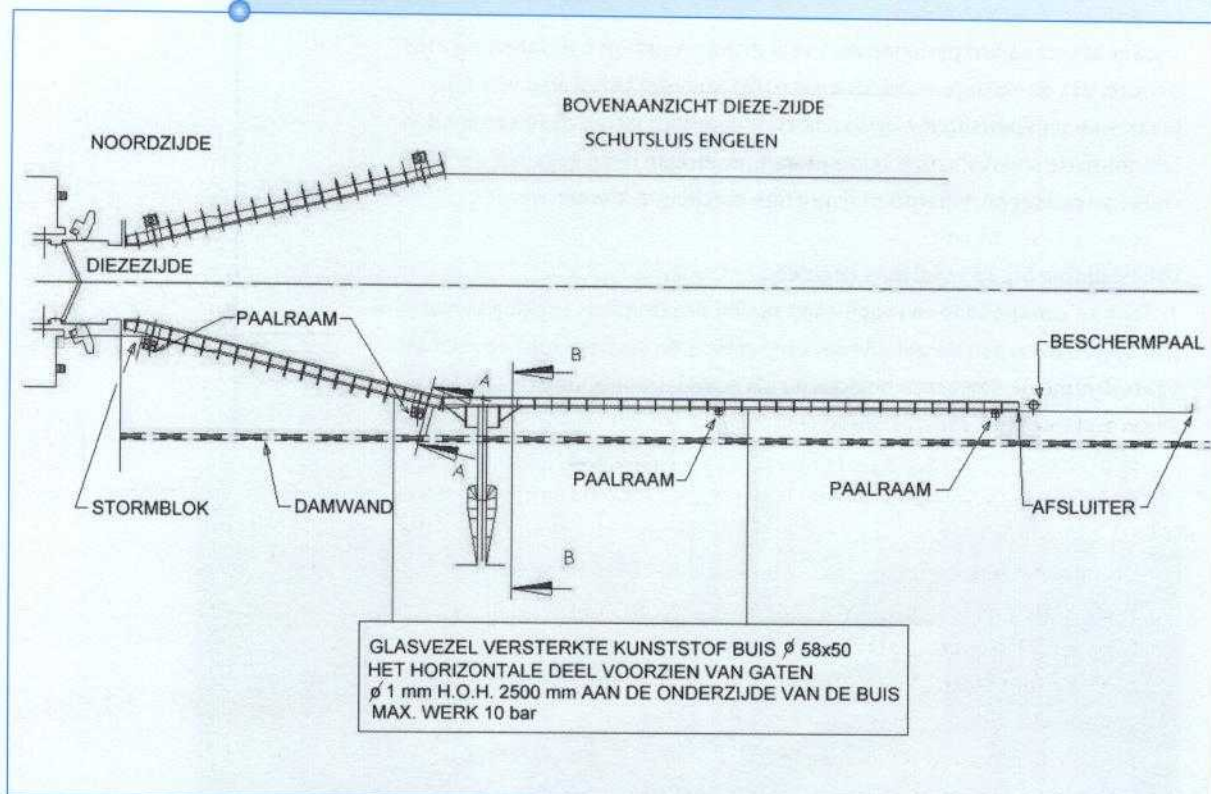


Sectie 2 van het drijvend remmingwerk bij de schutsluis Engelen met door ijs scheefgedrukte geleidepalen.



Sectie 4 van het drijvend remmingwerk bij schutsluis Engelen met door ijs scheefgedrukte geleidepalen.

Tussen de geleidewerken en de parallel hieraan liggende damwand had zich een veld van vast ijs gevormd. Het ijs veroorzaakte een dermate grote druk op de geleidewerken dat de paalconstructies van de geleidewerken vervormden.



Belasting op de geleidewerken door ijs kan worden vermeden door ervoor te zorgen dat zich tussen de geleidewerken en de damwand geen gesloten ijsveld kan vormen. Dit bleek te realiseren met behulp van een whirlscherm. Dit scherm moest er in ieder geval voor zorgen dat zich geen 'vast' ijs zou vormen tussen de geleidewerken en de damwand, het volledig ijsvrij houden was dus niet per se noodzakelijk.

Uit andere ijsbestrijdingsprojecten viel af te leiden dat in dit geval de capaciteit van zo'n whirlscherm $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{lucht} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ moest zijn. Het 150 meter lange whirlscherm werd horizontaal aangebracht, parallel aan de drijvende geleidewerken, 2500 mm onder de waterlijn, en bevestigd aan betonnen fundatieblokken die op de bodem van de rivier waren geplaatst.

Het scherm werd zo geplaatst dat de luchtbellens aan de binnenkant van de drijverpijp, dus aan de damwandkant, omhoog komen. De opstijgende luchtbellens transporteren het relatief warmere, diepe water naar boven. Er vindt dus op een heel geleidelijke wijze watertransport plaats van de bodem naar het wateroppervlak.

De drijvende geleidewerken van de schutsluis te Engelen hebben een lengte van 150 meter. Een whirlscherm van 150 meter is daarvoor in principe voldoende.

Men heeft echter het whirlscherm nog 30 meter door laten lopen. Het gaat om een experiment om er achter te komen of het mogelijk is om met een eenvoudig whirlscherm tijdens strenge vorst een kanaal of rivier open te houden.

Tijdens perioden met strenge vorst zal een kanaal na verloop van tijd dichtvriezen. De scheepvaart ondervindt hiervan veel hinder en wordt in veel gevallen zelfs volledig gestremd. Om de scheepvaart gaande te houden, worden dan ijsbrekers ingezet. Het probleem van ijsbrekers is echter dat ze de oevers beschadigen.

De proef met dit whirlscherm is een eerste aanzet om tot een alternatief voor het ijsbreken te komen.

Het principe van een whirlscherm als ijsbreker is als volgt. Water heeft bij 4°C zijn grootste dichtheid. Als in een winterse periode de temperatuur daalt tot onder de 4°C dan zullen de bovenste waterlagen afkoelen naar 4°C en naar de bodem zakken. Dit proces gaat door tot al het water een temperatuur heeft van 4°C , waarna het water tot stilstand komt. Hierna koelt de bovenste laag van het water verder af. In de onderste waterlagen, dus in de nabijheid van de bodem, blijft echter meestal een warmtevoorraad aanwezig. Met andere woorden, de temperatuur van het water in de dieper gelegen lagen zal altijd hoger zijn dan 0°C . Door dit water in opwaartse richting te bewegen zal het relatief warme, diepere water omhoog worden getransporteerd. Dit voorkomt dat zich aan de oppervlakte van het water een ijslaag vormt. Het omhoog brengen van het relatief warme, diepere water, is te realiseren door in de buurt van de bodem lucht te laten ontsnappen. Dit is mogelijk door middel van een over de bodem lopende gesloten leiding, die wordt gevoed door een compressor. Als men in de leiding een gaatje maakt, brengt men het transport op gang en ontstaat aan het wateroppervlak een wak. Het wak blijft intact zo lang het systeem van watertransport in werking is. Door in de lengterichting van de leiding meerdere gaatjes aan te brengen, zal aan de oppervlakte van het water een aantal wakken ontstaan dat gelijk is aan het aantal gaatjes in de leiding. De grootte van het wak dat door een gaatje ontstaat, is mede afhankelijk van de diepte van het water: hoe dieper het water hoe groter het wak.

Uit proeven is gebleken dat 1 m^3 lucht, 17 m^3 water omhoog transporteert. Een lange, parallel aan de bodem lopende leiding, voorzien van gaatjes op onderling gelijke hartafstand en gevoed door een compressor, zal aan de oppervlakte een aaneenschakeling van wakken vormen, zodat een vaargeul ontstaat.



De belletjes in het water duiden op een whirlscherm in werking bij de schutsluis Engelen.

Berekening

Per meter laten we $0,003 \text{ m}^3$ lucht per minuut omhoog stijgen.

Uit proeven is gebleken dat 1 m^3 lucht 17 m^3 water mee omhoog transporteert.

$0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{lucht} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ neemt $17 \cdot 0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{water} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ mee omhoog,
dat is $0,051 \text{ water} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

► Stel het water in de diepere lagen heeft een temperatuur van 1°C .

De warmte-inhoud van het water is dan $51,1 = 51 \text{ cal} \cdot \text{min}^{-1} = 60,51 = 3060 \text{ cal} \cdot \text{uur}^{-1}$.

► Om 1 kg ijs om te zetten in 1 kg water van 0°C is nodig 80 cal .

Er kan dus per uur worden gesmolten $3060 : 80 = 38 \text{ kg}$ ijs.

► Neem een ijslaagdikte van 1 dm .

Het wak dat dan ontstaat, heeft een diameter van:

$$\pi \cdot 4^{-1} \cdot d^2 \cdot 1 = 38 \rightarrow d^2 = 38 : 0,785 = 48,4 \text{ dm}^2 \rightarrow d = 6,95 \text{ dm}$$

► Stel het water in de diepere lagen heeft een temperatuur van $0,1^\circ\text{C}$.

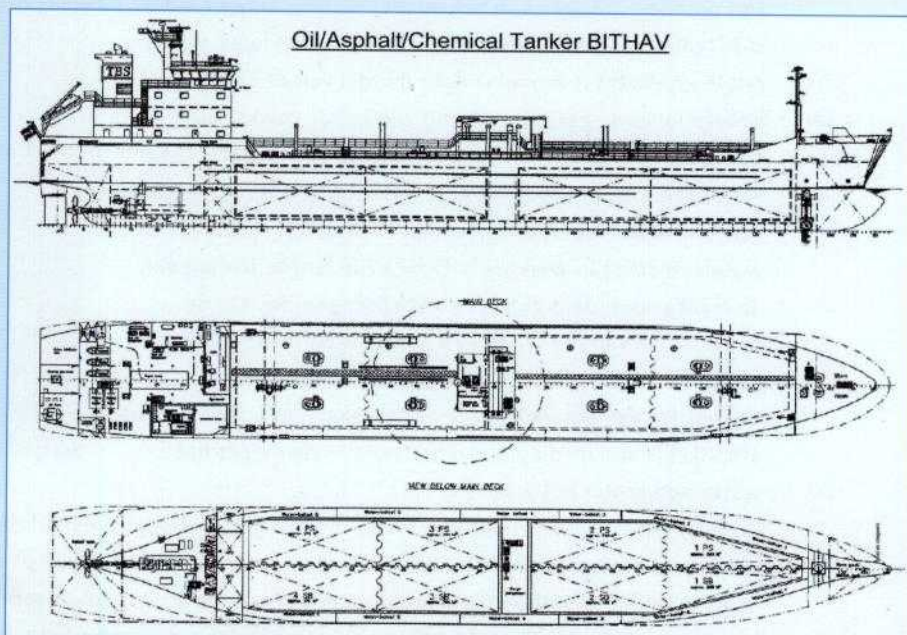
Het wak dat dan ontstaat, heeft een diameter van:

$$\pi \cdot 4^{-1} \cdot d^2 \cdot 1 = 3,8 \rightarrow d^2 = 3,8 : 0,785 = 4,84 \text{ dm}^2 \rightarrow d = 2,2 \text{ dm}$$

IJsbestrijding bij een tanker

Scheepswerf en Machinefabriek De Biesbosch-Dordrecht kreeg van een Zweedse rederij opdracht een tanker te bouwen die met name in de noordelijke wateren dienst zal doen. Het gaat om de tanker Bithav, bedoeld voor transport van olie, chemicaliën en asfalt. Met het oog op de koude omstandigheden is het schip voorzien van een door het Centraal Punt IJsbestrijding ontwikkelde toepassing.

Om te voorkomen dat het ballastwater in de twaalf ballasttanks zal bevriezen, zijn deze uitgerust met whirlschermen. Het is voor zover bekend de eerste keer dat een schip met een dergelijke voorziening is uitgerust.



Uitgevoerde ijsbestrijdingsmaatregelen

Krammersluizen

Bij de Krammersluizen zijn op de beide Zoommeer-hoofden de volgende ijsbestrijdingsmaatregelen aangebracht:

in beide roldeurkassen ▶ 1 whirlscherm en 1 wandverwarming;

in beide roldeurnissen ▶ 1 kasblaasinstallatie.

Totaal twee whirlschermen, twee wandverwarmingen, twee kasblaasinstallaties.

Kreekraksluizen

Bij de Kreekraksluizen zijn bij de beide sluizen op de boven- en benedenhoofden de volgende ijsbestrijdingsmaatregelen aangebracht:

op iedere hefdeur ▶ 2 luchtbellenschermen en 1 whirlscherm;

in iedere hefdeurkas ▶ 1 kasblaasinstallatie.

Totaal acht luchtbellenschermen, vier whirlschermen, acht kasblaasinstallaties.

Sluiscomplex Hagestein

In iedere puntdeurkas is ▶ 1 luchtbellenscherm aangebracht.

Totaal zes luchtbellenschermen.

Sluiscomplex Amerongen

In iedere puntdeurkas is ▶ 1 luchtbellenscherm aangebracht.

Totaal zes luchtbellenschermen.

Sluiscomplex Driel

In iedere puntdeurkas is ▶ 1 luchtbellenscherm aangebracht.

Totaal zes luchtbellenschermen.

Schutsluis Engelen

In de puntdeurkassen op het Dieze-hoofd zijn ▶ twee luchtbellenschermen aangebracht.

Langs de geleidewerken aan de zuidkant op het Dieze-hoofd is ▶ een whirlscherm aangebracht met een lengte van 180 meter.

Totaal twee luchtbellenschermen, 1 whirlscherm.

Schutsluis Eefde

Op iedere hefdeur zijn ▶ 2 luchtbellenschermen en ▶ 1 whirlscherm aangebracht.

In iedere hefdeurnis is ▶ 1 kasblaasinstallatie aangebracht.

Totaal vier luchtbellenschermen, twee whirlschermen, vier kasblaasinstallaties.

Schutsluis Delden

Op iedere hefdeur zijn ▶ 2 luchtbellenschermen en ▶ 1 whirlscherm aangebracht.

In iedere hefdeurnis is ▶ 1 kasblaasinstallatie aangebracht.

Totaal vier luchtbellenschermen, twee whirlschermen, vier kasblaasinstallaties.

Bijlage **Berekeningen**



Berekening luchtbellenscherm

Bij het berekenen van een luchtbellenscherm moet eerst worden vastgesteld waarvoor het luchtbellenscherm wordt gebruikt.

Qua toepassing is de volgende indeling te maken:

- kasblaasinstallaties,
- luchtbellenschermen,
- whirlschermen.

De benodigde luchtcapaciteit bij de afzonderlijke toepassingen is als volgt:

- kasblaasinstallaties, capaciteit $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- luchtbellenschermen, capaciteit $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, tot $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- whirlschermen, capaciteit $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, tot $0,006 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

Om de installatie te bepalen, is de volgende formule ontwikkeld:

Benodigd aantal gaatjes

$$n = Q_{\text{tot}} \cdot \left[\mu \cdot A \cdot \sqrt{\frac{\chi}{\chi-1}} \cdot \left[\left(\frac{P_r}{P_{\text{buis}}} \right)^{\frac{2}{\chi}} - \left(\frac{P_r}{P_{\text{buis}}} \right)^{\frac{\chi+1}{\chi}} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{buis}}^2}{R \cdot T_{\text{buis}}}} \cdot R \cdot \frac{T_{\text{omgeving}}}{P_{\text{omgeving}}} \right]^{-1}$$

n = benodigd aantal gaatjes

Q_{tot} = totale luchttoevoer = $L_p \cdot Q_1$ (m^3/min)

L_p = lengte luchtbellenscherm (m)

Q_1 = luchtcapaciteit per strekkende meter luchtbellenscherm
(zie afzonderlijke toepassingen) ($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

μ = contractiecoëfficiënt

A = oppervlakte van de gaatjes, $A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$

d = diameter gaatje

χ = isentroopexponent

P_r = druk rond de gaatjesbuis = $P_{\text{omgeving}} + W_k \cdot S_m \cdot g$

P_{omgeving} = atmosferische druk ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)

W_k = waterkolom boven de buis (m)

S_m = soortelijke massa water ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

P_{buis} = druk in de gaatjesbuis ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)

T_{buis} = temperatuur in de gaatjesbuis; $T_{\text{buis}} = \left(\frac{T_{\text{omgeving}}^{\chi} \cdot P_{\text{buis}}^a}{P_{\text{omgeving}}^a} \right)^{\frac{1}{\chi}}$

R = gasconstante ($287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T_{omgeving} = buitentemperatuur; (K)

P_{omgeving} = atmosferische druk; ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)

Atmosferischedruk	$P_{\text{omgeving}} = 1,0336 \cdot 10^5 \text{ N.m}^{-2}$
Buitentemperatuur	$T_{\text{omgeving}} = 273 \text{ K}$
Gasconstante	$R = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
Isentroopexponent	$\chi = 1.4 \quad c = \frac{1}{\chi} \quad a = \chi - 1$

Bij een pijpdiameter van 50 mm is de stromingsweerstand verwaarloosbaar klein.

$$L_g = \text{onderlinge afstand tussen de gaatjes} = L_g = \frac{L_p}{n-1}$$

Rekenvoorbeeld

Whirlscherm met capaciteit van $0,006 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}.\text{min}^{-1}$

Lengte whirlscherm 150 m

Waterkolom boven het whirlscherm 4,35 m

Invoer gegevens

Luchttoevoer per strekkende m	$Q_1 = 0,006 \text{ m}^3.\text{m}^{-1}.\text{min}^{-1}$
Waterkolom boven de buis	$Wk = 4,35 \text{ m}$
Leidinglengte	$L_p = 150 \text{ m}$
Contractiecoëfficiënt is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de gaatjes zijn geboord.	
Voor zeer zorgvuldig geboorde gaatjes geldt: $m = 0.62$	
Voor normaal geboorde gaatjes geldt:	$m = 0.45$
Contractiecoëfficiënt	$\mu = 0.45$
Diameter van de gaatjes	$d = 1 \text{ mm}$
Soortelijke massa water	$Sm = 1015 \text{ kg.m}^{-3}$

P_{buis} moet groter zijn dan P_r

De druk in de buis beïnvloedt de diameter van de gaatjes en/of het aantal gaatjes.

Een hogere druk resulteert in kleinere gaatjes of minder gaatjes.

Druk in de gaatjesbuis $P_{\text{buis}} = P_r \times X \quad X = 1,5$

P_r is de druk rond de gaatjesbuis.

De uitstroomsnelheid van de lucht is tot een zekere grens in hoofdzaak afhankelijk van de drukverhouding. Voor lucht is de kritische drukverhouding $P_r/P_{\text{buis}} = 0,528$

P_{buis} is groter dan P_r en maximaal gelijk aan $P_r/0,528$ of $1,9 \times P_r$

Toegepaste formules

Totale luchttoevoer	$Q_{\text{tot}} = L_p \cdot Q_1$	$Q_{\text{tot}} = 0,90 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$
Druk rond de gaatjesbuis	$P_r = P_{\text{omgeving}} + Wk \cdot Sm \cdot g$	$P_r = 1,47 \cdot 10^5 \text{ N.m}^{-2}$
Druk in de gaatjesbuis	$P_{\text{buis}} = P_r \cdot X$	$P_{\text{buis}} = 2,2 \cdot 10^5 \text{ N.m}^{-2}$
Temperatuur in de gaatjesbuis	$T_{\text{buis}} = \left(\frac{T_{\text{omgeving}} \cdot \chi \cdot P_{\text{buis}}^a}{P_{\text{omgeving}}^a} \right)^{\frac{1}{\chi}}$	$T_{\text{buis}} = 338,76 \text{ K}$
Oppervlakte van de gaatjes	$A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$	

Benodigd aantal gaatjes

$$n = Q_{\text{tot}} \cdot \left[\mu \cdot A \cdot \sqrt{\frac{\chi}{\chi-1}} \cdot \left[\left(\frac{P_r}{P_{\text{buis}}} \right)^{\frac{2}{\chi}} - \left(\frac{P_r}{P_{\text{buis}}} \right)^{\frac{\chi+1}{\chi}} \right] \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{buis}}^2}{R \cdot T_{\text{buis}}}} \cdot R \cdot \frac{T_{\text{omgeving}}}{P_{\text{omgeving}}} \right]^{-1}$$

Onderlinge afstand $L_g = \frac{L_p}{n-1}$ $n = 121,15$ $L_g = 1,25 \text{ m}$

Uitvoergegevens

Het benodigde luchtvolume cq. minimum compressorcapaciteit

$Q_{\text{tot}} = 0,90 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$	$Q_{\text{tot}} = 15,00 \frac{\text{liter}}{\text{sec}}$
Gaatjesdiameter	$d = 1,00 \text{ mm}$
Aantal benodigde gaatjes	$n = 121,15$
Onderlingen afstand tussen de gaatjes	$L_g = 1,25 \cdot 10^3 \text{ mm}$
Druk in de gaatjesbuis	$P_{\text{buis}} = 2,20 \text{ bar}$

Berekening drukvat**Invoergegevens**

P_{omgeving}	$P_{\text{omgeving}} = 1,0336 \text{ bar}$
Druk rond de gaatjesbuis	$P_r = 1,47 \text{ bar}$
Druk in de gaatjesbuis	$P_{\text{buis}} = 2,20 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
Maximum druk in het drukvat	$P_{\text{max}} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
Minimum druk in het drukvat	$P_{\text{min}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
P_{min} is P_{buis} plus het drukverlies in de leiding tussen de compressor en de gaatjesbuis.	
Benodigde luchttoevoer	$V_{\text{tot}} = 0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Compressorcapaciteit	$Q_{\text{compr}} = 1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$
Volume van het drukvat	$V_o = 2,5 \text{ m}^3$

Toegepaste formules

$$V_{\text{ex}} = Q_{\text{compr}} - V_{\text{tot}} \quad V_{\text{max}} = \left(\frac{P_{\text{max}} \cdot V_o^\chi}{P_{\text{omgeving}}} \right)^{\frac{1}{\chi}} \quad V_{\text{min}} = \left(\frac{P_{\text{min}} \cdot V_o^\chi}{P_{\text{omgeving}}} \right)^{\frac{1}{\chi}}$$

$$V_{\text{ex}} = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{sec}^{-1} \quad V_{\text{max}} = 10,30 \text{ m}^3 \quad V_{\text{min}} = 4,70 \text{ m}^3$$

De compressor slaat aan als het maximale luchtvolume V_{max} in het drukvat is teruggelopen tot het minimale luchtvolume V_{min} . Dit is na T_1 minuten.

De compressor slaat af als het minimale luchtvolume V_{min} in het drukvat is teruggelopen tot het maximale luchtvolume V_{max} . Dit is na T_2 minuten.

$$T_1 = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{tot}}} \quad T_2 = \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{ex}}}$$

$$T_3 = T_1 + T_2 \quad T_3 \text{ is de cyclustijd}$$

Uitvoergegevens

Volume van het drukvat

Maximum druk in het drukvat

Minimum druk in het drukvat

Compressorcapaciteit

De compressor staat T_1 minuten uitgeschakeld

De compressor staat T_2 minuten aangeschakeld

De cyclustijd T_3 is

$$V_o = 2,50 \text{ m}^3$$

$$P_{\max} = 7,50 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$P_{\min} = 2,50 \cdot 10^5 \text{ Nm}^{-2}$$

$$Q_{\text{compressor}} = 1,30 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$T_1 = 6,22 \text{ min}$$

$$T_2 = 14,00 \text{ min}$$

$$T_3 = 20,22 \text{ min}$$







Over de auteur

Leo Vankan studeerde mijnbouwkunde aan de Mijnbouw Hogeschool te Heerlen. Hij is afgestudeerd in 1967. Tevens studeerde hij in 1969 af aan de Technische Hogeschool te Heerlen als werktuigbouwkundige. Momenteel is hij werkzaam als projectleider van het Centraal Punt Ijsbestrijding Kunstwerken bij de Bouwdienst afdeling NIW2 te Tilburg.

Met dank aan

Aan de in dit boek beschreven projecten hebben de volgende medewerkers van de Bouwdienst meegewerkt:

C.J. van Baarle
P.G.A. van den Berg
P.M.E. Bogers
ing. A.L.J.M. Donkers
M.P.A. Fiddelaars
G.A. Fijten
F.A.M. van Gestel
A.C.J. Mertens
C.M. van Roy
ing. M.T. Sturm

Adres

Centraal Punt Ijsbestrijding bij Kunstwerken
Prof. Cobbenhagenlaan 225
Postbus 1286
5004 BG Tilburg
telefoon 013-4645870
telefax 013-4645877

Illustratieverantwoording

Alle geplaatste foto's zijn van de hand van ing. L.J. Vankan. De opnames op bladzijde 15 (boven), 20 (boven, onder), 21 (rechtsonder), 24 (linksboven), 25 (boven, onder), 41 (onder) en 42 (links, rechts) zijn frames gehaald uit video-films, gemaakt door ing. R.J.M. Vankan. De geplaatste tekeningen zijn gemaakt door medewerkers van de Bouwdienst afdeling NIW2. Daarnaast zijn de foto's op pagina 1, 6, 8, 14, 28, 48, 56 en 62 afkomstig van de Meetkundige Dienst te Delft.

Colofon

Ijsbestrijding bij kunstwerken is in 2000 uitgegeven door Stichting Matrijs in Utrecht, in samenwerking met het Centraal Punt Ijsbestrijding van de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

De tekst is gezet uit de letter Thesis Sans. De vormgeving van omslag en binnenwerk werd verzorgd door Hans Lodewijkx van x-hoogte te Tilburg. Het boek is gedrukt bij drukkerij Giethoorn ten Brink, Meppel.

Stichting Matrijs werd in 1981 opgericht om door middel van publicaties de belangstelling voor geschiedenis, landschap, archeologie en monumenten te bevorderen. Matrijs werkt zonder winstoogmerk.

Voor meer informatie:

Uitgeverij Matrijs

Postbus 670

3500 AR Utrecht

telefoon 030 - 2 343 148

fax 030 - 2 319 824

e-mail uitgeverij@matrijs.com

Sneeuwballen gooien, sleetje rijden, schaatsen, Elfstedentocht en koek en zopie: sneeuw en ijs hebben zonder twijfel hun leuke kanten. De winter heeft echter ook een heel ander gezicht. Spiegelgladde wegen, snijdende wind, bevroren waterleidingen en dichtvriezende waterwegen veroorzaken veel problemen. Beheerders van stuwen en sluizen in Nederland kunnen daarover meepraten. In iedere periode met matige tot strenge vorst leiden ijsafzetting en drijfijis tot vastlopende bewegingswerken en slecht functionerende deuren. Het Centraal Punt Ijsbestrijding biedt sinds een aantal jaar de beheerders van kunstwerken de helpende hand bij het voorkomen van dergelijke problemen. In dit boek is getracht de ervaring en de kennis van het Centraal Punt Ijsbestrijding te bundelen en te presenteren. Voor beheerders van kunstwerken wil het boek een handreiking bieden hoe zij overlast door ijs op eenvoudige wijze kunnen voorkomen. Voor ontwerpers van sluizen en stuwen kan het boek leiden tot een beter inzicht in de noodzaak om ijsbestrijdingsmaatregelen in hun ontwerp mee te nemen.

