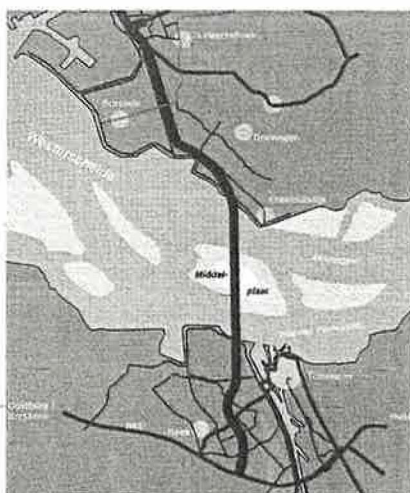


Westerscheldetunnel veilig beademd

De eerste plannen voor een tunnel onder de Westerschelde dateren uit 1936. Zakenlieden uit Goes laten het eerste ontwerp voor de verbinding maken: een tunnel met afgezonken tunnelementen. Pas in 1996 werd definitief besloten tot de aanleg van een tunnel. De lengte van deze tunnel, 6,6 kilometer, en zijn diepe ligging (-60 m NAP), is voor een effectieve ventilatie en brandbestrijding een grote uitdaging voor de ontwerpende en uitvoerende partijen door de strenge eisen aan veiligheid. Op werktuigkundig gebied is deze tunnel hightech te noemen. In dit artikel wordt omschreven welke technische complexiteit en creatieve oplossingen een rol hebben gespeeld om tot een veilige "beademing" te komen.

-door P.M.D. Kruijse en W.G. van der Schee*

Al vanaf 1930 heeft ondernemend Zeeland aangedrongen op een vaste oeververbinding tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen. De komst van de tunnel onder de Westerschelde levert tal van voordelen op voor de inwoners van Zeeland en de regionale en nationale economie. De tunnel verbindt Ellewoutsdijk (gemeente Borsele) met Terneuzen. De opening van de Westerscheldetunnel is gepland in 2003. Een veilige, snelle verbinding tussen Zuid-Beveland en Zeeuws-Vlaanderen is dan een feit.



Afbeelding tunnel met locatie

-FIGUUR 1-

De Westerscheldetunnel is een geboorde tunnel. Dat is op zich niet uniek: zowel in het buitenland als in Nederland zijn al eerder tunnels geboord. En toch is de Westerscheldetunnel een primeur. Het is de langste tunnel ooit geboord in een slappe bodem. De tunnel ligt bovendien (plaatselijk) zeer diep en heeft een diameter van ruim 11 meter. Al met al een technisch hoogstandje van wereldformaat! Twee tunnelboormachines boren de twee tunnelbuizen. Als twee reusachtige mollen bewegen ze zich samen vanaf Terneuzen richting Zuid-Beveland. De machines boren met een tijdsverschil van twee à drie maanden.

TWEE GESCHIEDEN TUNNELBUIZEN

De Westerscheldetunnel bestaat uit twee tunnelbuizen naast elkaar met een onderlinge afstand van ongeveer 12 meter, met om de 250 meter een dwarsverbindingen. Deze zijn bestemd als vluchtroute en toegangsroute voor hulpdiensten in geval van nood. Elke buis bestaat uit twee rijstroken van elk 3,5 meter breed. De tunnel is geschikt voor Categorie I-voertuigen, waarmee de tunnel voldoet aan de maximale eisen om vervoer van gevaarlijke stoffen



P.M.D. Kruijse



W.G. van der Schee

mogelijk te maken. Onder het wegdek ligt een kabelkanaal met ruimte voor voedingskabels voor de elektrotechnische en werktuigkundige installaties en leidingen.

VENTILATIE WESTER SCHELDETUNNEL

Veiligheid

In de Westerscheldetunnel is een aantal werktuigkundige installaties aangebracht waarbij voor de veiligheid de belangrijkste zijn:

- tunnelventilatie;
- overdrukventilatie vluchtwegen;
- brandbestrijding.

In dit artikel worden de ventilatiesystemen nader toegelicht.

*Wolter en Dros te Amersfoort

Situatie stagnerend verkeer bepaalt tunnelventilatie

In de tunnel wordt een langventilatiesysteem aangebracht met meerdere functies:

- ventileren van de tunnelbuizen om de concentratie schadelijke gassen te beperken tijdens normaal gebruik;
- zo snel mogelijk afvoeren van explosieve gasmengsels en rook in geval van calamiteiten;
- veilige ontsnapping van personen waarborgen.

Bij langventilatie wordt de lucht toen afgevoerd in de lengterichting van de tunnelbuis.

Welke factoren spelen nu een rol bij de ventilatie van een diepe tunnel bij normaal bedrijf en brand?

Verskil in massa tussen de koude en hete lucht bij tunnelbrand

Hete rook verzamelt zich aanvankelijk tegen het plafond en verspreidt zich langs het plafond van de brand af. Onder deze rooklaag is heldere lucht aanwezig die naar de brand toestroomt. Door afkoeling na enige minuten zal op een gegeven moment de rook naar beneden zakken en in de luchtstroom naar de brand toe worden meegenomen. Vanaf dat moment is de tunnel over de volle hoogte met rook gevuld. Dit proces is te berekenen met het Richardsongetal. Figuur 3 geeft het stromingsprofiel weer met het terugstromen van de gassen bij een te lage gemiddelde luchtsnelheid in de tunnel en terwijl in figuur 4 het juiste stromingsprofiel te zien is.

De weerstand van de lege tunnelbuis

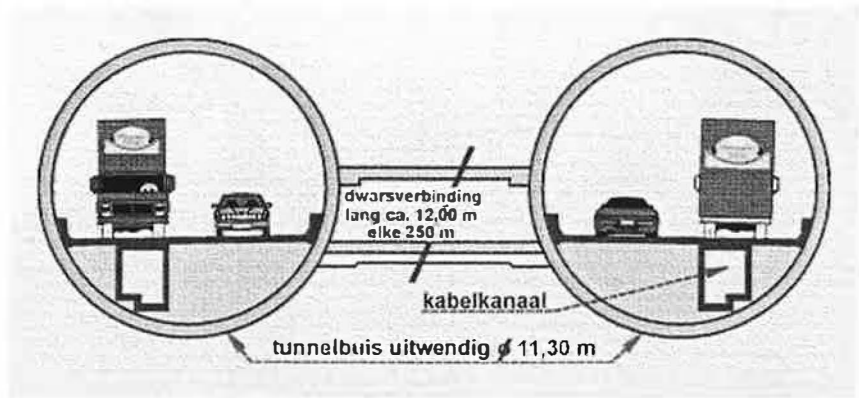
De berekening van het drukverlies in de lege tunnelbuis komt overeen met de bekende drukverliesberekeningen in leidingen en kanalen met dien verstande dat aan de doorsnede van de tunnel de hydraulische diameter (D_h) wordt toegekend.

In- en uitstroomverliezen bij de tunnelportalen

Bij de tunnelportalen treden in- en uitstroomverliezen op door wervelingen die kinetische energie dissiperen. De weerstandscoefficiënt ξ_2 , een maat voor deze plaatselijke weerstand.

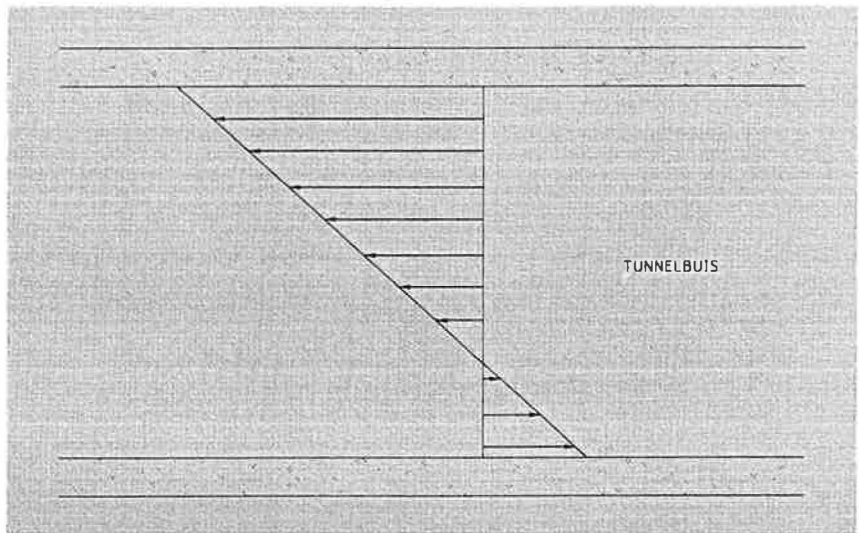
Stuwdruk door de wind

Bij een windaanval op het tunnelportaal moet het ventilatiesysteem vol-



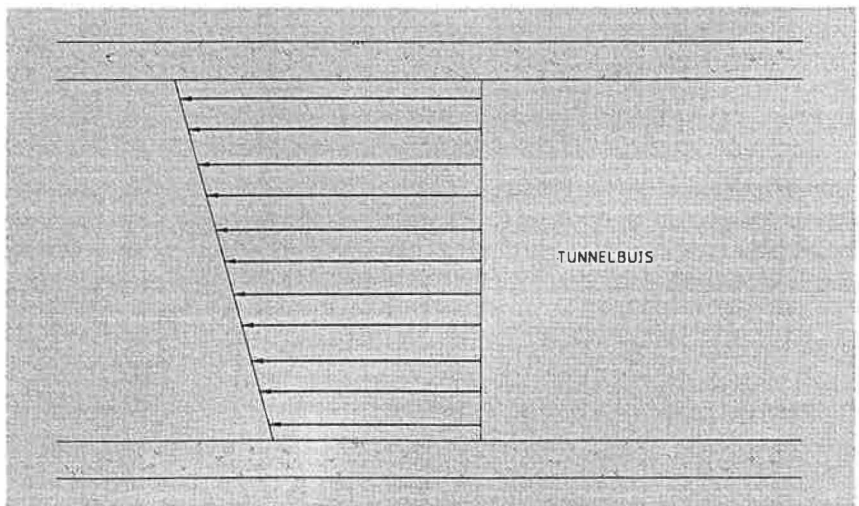
Doorsnede tunnel

-FIGUUR 2-



De luchtsnelheid in de tunnel is te laag. In het onderste deel van de tunnel stromen gassen terug.

-FIGUUR 3-



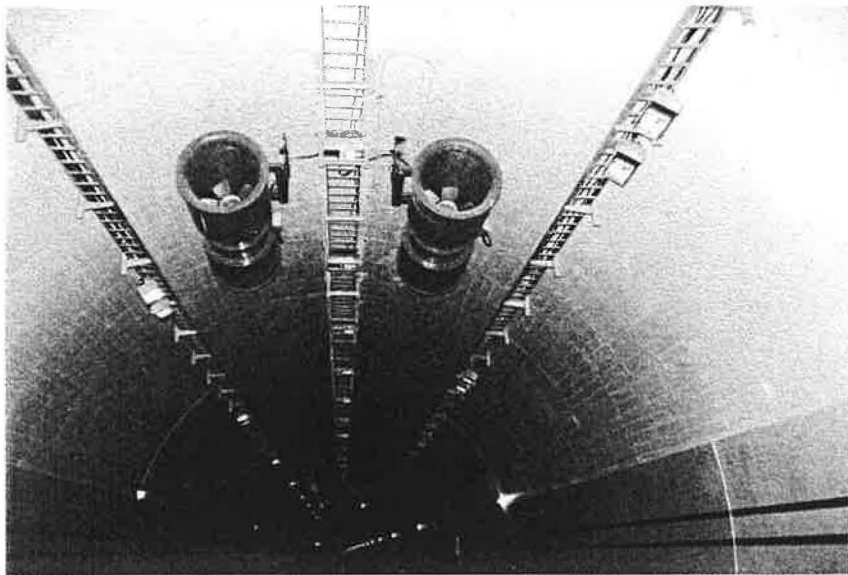
De luchtsnelheid in de tunnel is voldoende hoog. De gassen stromen over de gehele tunneldoorsnede in één richting.

-FIGUUR 4-

doende capaciteit hebben om de lucht in de tunnel te verplaatsen. Meerdere factoren spelen hierin een rol: de oriëntatie, de ligging boven of onder het maaiveld, de windsnelheid en invloed van de omgeving in de vorm van een terreinruwheidsfactor.

Brand in de tunnel

Bij een ongeval met een tankauto kan een zogenaamde "grote" brand ontstaan. Een "grote" brand is gedefinieerd als het volledig verbranden van een tankauto met 50 m^3 benzine op een verdampend oppervlak van 150 m^2 waar-



Stuwventilatoren boven in een tunnel

FIGUUR 5

STUWVENTILATOREN

De stuwventilatoren voldoen aan de volgende specificaties:

- debiet 55,5 m³/s (200.000 m³/h);
- statische impulskracht 2434 N;
- uitredesnelheid 39 m/s;
- volledig omkeerbare ventilatierichting;
- opgenomen motorvermogen 85 kW bij lucht van 20 °C;
- spanning 690 V, 50 Hz;
- diameter waaier 1400 mm;
- geschikt om 1 uur te functioneren bij een omgevingstemperatuur van 250°C;
- geluidsvermogeniveau (Lw) 107 dB;
- voorzien van geluiddempers.

bij 300 MW vermogen vrijkomt. Het is zaak tijdens deze 300 MW brand een volledige verbranding te bewerkstelligen en zodoende secundaire explosies elders in de tunnel te voorkomen. Bij een niet-volledige verbranding zouden weggeventileerde halfverbrande hete gassen kunnen exploderen als ze elders in de tunnel weer in aanraking komen met verse lucht. De benodigde luchtstroom bedraagt minimaal 88 m³/s (317.000 m³/h) bij een windrichting loodrecht op het tunnelportaal en tegengesteld aan de ventilatierichting.

Tijdens "normaal bedrijf" wordt geventileerd in de rijrichting. Als er een brand ontstaat, worden de rook en hete gassen altijd met het verkeer mee afgevoerd. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de voertuigen na de plek van de brand doorrijden en dat de tunnel daar leeg is. De voertuigen die door de brand gestrand zijn, staan veilig in de vers-aangevoerde luchtstroom.

Backlayering

Tijdens een brand stijgt hete rook naar

het plafond, ook als er geventileerd wordt, maar wordt vervolgens door de ventilatiestroom meegenomen. Hete rook kan echter tegen de ventilatiestroom in kruipen langs het plafond. Dit heet "backlayering". Backlayering treedt op beneden de zogenaamde kritische snelheid. Deze is voor een 200 MW brand ca 2,5 m/s en bij 300 MW 2,75 m/s. Het is dus zaak een minimale ventilatiesnelheid van tenminste 2,75 m/s te handhaven tijdens een (maximale) brand.

Voertuigen in de tunnel

De in de tunnel aanwezige voertuigen veroorzaken een plaatselijke weerstand. Deze wordt bepaald door de snelheid van het verkeer, samenstelling, onderlinge positie, rijrichting, frontale oppervlak en Cw-waarde.

Stagnerend verkeer

Bij stagnerend verkeer -de snelheid van het verkeer gemiddeld 2,5 km/h- treedt een grote uitstoot van schadelijke stoffen op in de tunnel. Uit de berekeningen bleken de gehalten NO_x en CO de

MODEL KABELKANAAL OP WARE GROOTTE

Croon Elektrotechniek en Wolter & Dros hebben een model van het kabelkanaal op ware grootte nagebouwd waarin alle componenten zijn gemonteerd. Tot de bouw van een dergelijke 'mock-up' is besloten, omdat het op deze wijze mogelijk is om de montage-methodieken te optimaliseren en verrassingen tijdens de montage te voorkomen. Voor transport en onderhoud in het 13,2 kilometer lange kabelkanaal is een speciale wagen ontwikkeld (gedoopt met de naam: 'servicemobiel') waarmee met een snelheid van 20 km/h door het kabelkanaal kan worden gereden.

DEELNEMENDE AANNEMERS

Aan het project nemen meerdere aannemers deel:

- Wolter & Dros;
- Croon Elektrotechniek te Rotterdam;
- Aannemerscombinatie Combinatie Middelpaai Westerschelde.

TUNNELCENTRUM

Voor informatie kan men terecht bij het Tunnelcentrum. Openingsuren voor het publiek van dinsdag tot en met vrijdag tussen 9.00 en 16.00 uur en op zaterdag tussen 11.00 en 16.00 uur. Het centrum is te vinden aan de Willemskerkweg 1 in Hoek/Terneuzen. De toegang is gratis. Groepen kunnen tegen geringe vergoeding op afspraak terecht voor een rondleiding.

bepalende factoren te zijn. Om overschrijding van de maximale grens te voorkomen verzorgt de langsventilatie een gemiddelde luchtsnelheid in de tunnel van 8 m/s. Voor de Westerscheldetunnel is stagnerend verkeer de bepalende factor voor de ventilatieberekening.

Uit het voorgaande blijkt dat er veel factoren zijn, die leiden tot een complexe berekening voor het ontwerp van een tunnel met een veilig ventilatiesysteem. De uitgevoerde ontwerpberekeningen hebben uiteindelijk geleid tot een langsventilatiesysteem met 40 stuwventilatoren per tunnelbuis. Door het aan brengen van een hittewerende laag met een afwijkende oppervlakterutheid en verkeerssignalering boven in de tunnel zijn nieuwe berekeningen benodigd om het definitieve aantal te bepalen. Als gevolg van een stijging van de ruimtetemperatuur tijdens brand

zullen stroomafwaarts over een afstand van 300 tot 500 m maximaal 3 ventilatoren uitvallen, waarbij de overige ventilatoren de noodzakelijke luchtstroom garanderen. De tunnelventilatoren worden evenredig verdeeld over de tunnallengte, hoog in de tunnel en buiten het profiel van vrije ruimte. Een stuwventilator staat afgebeeld in figuur 5.

Besturingssysteem ventilatie in de tunnel

Het centrale besturingssysteem bewaakt continu de luchtkwaliteit in de tunnel op basis van zicht- en CO-meting omdat CO de opname van zuurstof in het bloed belemmert door de binding met hemoglobine. Per tunnelbuis wordt op een 20-tal punten continu het CO-gehalte gemeten. Vier sensoren meten het zicht. Bij een overschrijding van de maximale hoeveelheid verontreinigingen schakelen alle ventilatoren in. Nadat de verontreiniging beneden het maximum is gedaald stoppen de ventilatoren. Vanuit het controlecentrum van de tunnel zijn alle ventilatoren met de hand te bedienen. Het is niet mogelijk binnen één tunnelbuis ventilatoren met verschillende ventilatierichtingen in te schakelen. Bij verkeersstagnatie stelt het besturingssysteem het langventilatiesysteem automatisch in werking waardoor eventuele schadelijke gassen in de rijrichting de tunnel uit worden geblazen. Het gestremde verkeer heeft hiervan zo min mogelijk last.

Vanuit het centrale besturingssysteem kunnen 4 bedrijfstoestanden worden opgelegd:

- werkzaamheden bij 50 ppm CO₂;
- calamiteit bij 150 ppm CO₂;
- normaal verkeer bij 300 ppm CO₂;
- ontruimen bij 400 ppm CO₂.

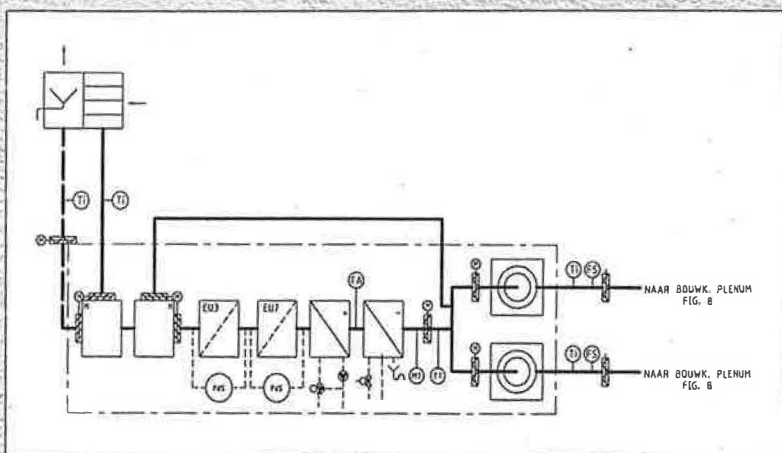
Bij calamiteiten start het langventilatiesysteem volgens een calamiteitenprogramma in de rijrichting om rook en gassen van het door de brand gestremde verkeer af te blazen. Om recirculatie via de eindportalen naar de andere buis te voorkomen, start het langventilatiesysteem in de andere buis in dezelfde richting.

Veilig vluchten bij brand

In geval van een calamiteit in één van de tunnelbuizen moeten personen snel kunnen vluchten naar een veilige omgeving. Daartoe zijn om de 250 meter dwarsverbindingen tussen de twee

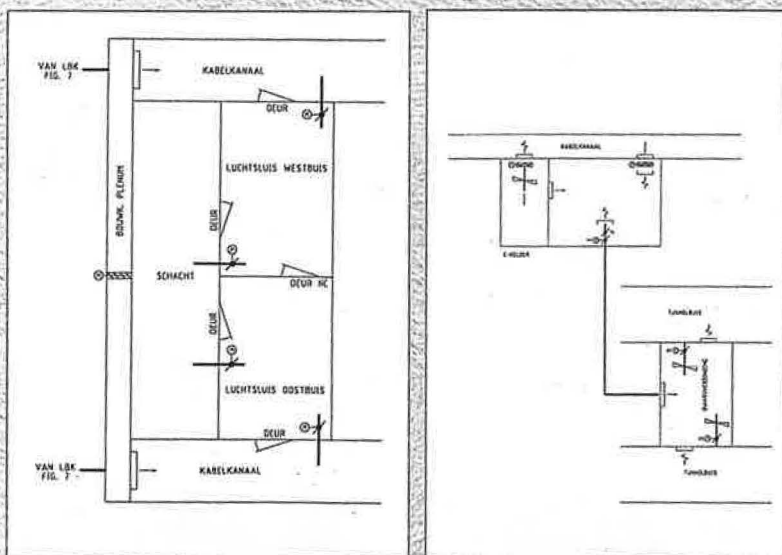
TEMPERATUURBEHEERSING IN DE KABELKANALEN

In een kabelkanaal onder het wegdek liggen alle voedingskabels voor de elektrotechnische en werktuigkundige installaties. Per kabelkanaal dissiperen deze kabels over een lengte van 6,6 km 25 kW. Als geen voorzieningen worden getroffen, loopt de temperatuur te hoog op en/of treedt condensatie op de binnenwand van het kabelkanaal. Een separaat luchtbehandelingssysteem voorziet in het afvoeren van warmte in het kabelkanaal, voorkomen van condensatie op de wand van het kabelkanaal, onderhoud van ventilatie in pomp- en elektrakelders en toevoeren van ventilatie-lucht tijdens werkzaamheden. In het Dienstgebouw van de toerit Zeeuws-Vlaanderen staat een luchtbehandelingsunit die de lucht filtert, verwarmt of koelt en in de twee kabelkanalen blaast, zie figuur 7. Vanwege reserve en onderhoud is de toevoerventilator (11.000/22.000 m³/h per stuk) dubbel uitgevoerd en is in de unit een omloopkanaal aangebracht. Indien één van de ventilatoren buiten werking is, kan door het openen van een kleppenregister lucht naar beide kabelkanalen stromen. Aan het begin van het kabelkanaal heerst een overdruk van ca 700 Pa. Toegang tot het kabelkanaal is mogelijk via een luchtsluis met drukkivellering om de deuren te kunnen openen. Zie figuur 8. De lucht verdwijnt via twee bouwkundige schachten op de toerit Zuid Beveland. Een temperaturopnemer op de betonwand van het kanaal registreert permanent de oppervlaktetemperatuur van het beton en bepaalt uiteindelijk de luchtinblaas temperatuur bij de luchtbehandelingsunit.



Principeschema luchtbehandelingsunit voor het kabelkanaal

FIGUUR 7



Principeschema luchtsluis voor het betreden van het kabelkanaal

FIGUUR 8

Ventileren schakel- en voedingsruimten en dwarsverbinding

FIGUUR 9

Ventileren en koelen van schakel- en voedingsruimten

De luchtstroom in het kabelkanaal dient tevens om de in totaal 13 schakel- en voedingsruimten (7 respectievelijk 6 per tunnelbuis) te koelen. Buisventilatoren onttrekken een deel van de lucht aan het kabelkanaal en leiden deze via kleppenregisters door de elektrakelders terug naar het kabelkanaal. Een deel van de lucht uit de schakel-

en voedingruimten wordt voor overdruk van de dwarsverbinding gebruikt. In figuur 9 is het principe weergegeven.


Ventileren van de middenpompkelders

In de middenpompkelders ontstaat ventilatie door vanuit het kabelkanaal lucht via een buisventilator aan te zuigen en deze af te voeren naar het kabelkanaal. De toevoer per middenpompkelder bedraagt 500 m³/h. In geval van brand sluiten de kleppen en stopt de ventilator.

tunnelbuizen aangelegd. In totaal 26 stuks. In geval van nood worden de tunnelvluchtdeuren automatisch ontgrendeld en kan de tunnelgebruiker via de dwarsverbinding naar de andere, veilige tunnelbuis lopen. De dwarsverbindingen kunnen op twee manieren worden geventileerd. Tijdens normaal bedrijf wordt de dwarsverbinding op overdruk gehouden door met een buisventilator lucht uit het kabelkanaal aan te zuigen en in de dwarsverbinding te blazen, de lucht verdwijnt via een instelbare klep naar de tunnelbuizen. Hierdoor wordt vervuiling vanuit de tunnelbuizen voorkomen. In geval van een calamiteit opent een in naast de deur geïntegreerde brandklep en start direct een ventilator om lucht vanuit de "schone" tunnelbuis in de dwarsverbinding te blazen om de vluchtroute vrij van rook te houden. De ventilator verplaatst 8.000 m³/h waarmee de gemiddelde snelheid in de deuropening ongeveer 1 m/s bedraagt. Per

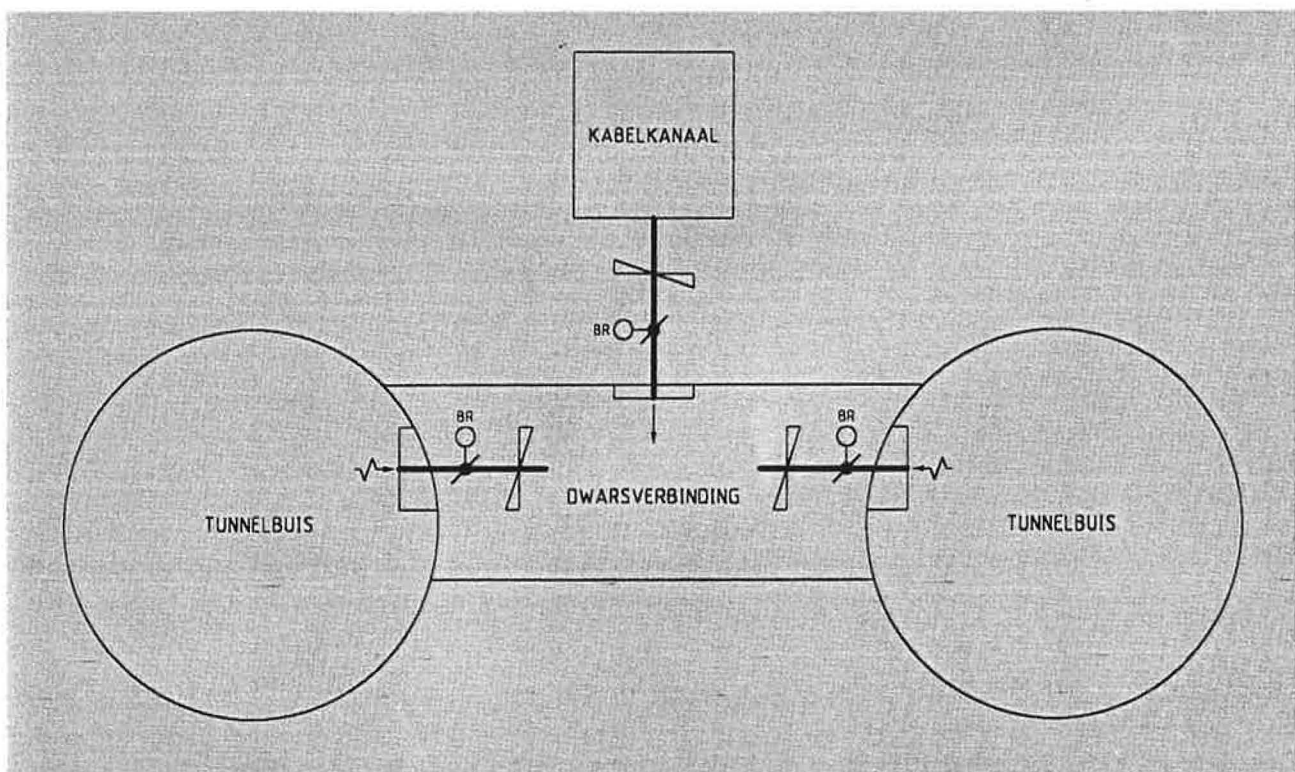
dwarsverbinding zijn twee ventilatoren aangebracht, vanuit elke tunnelbuis één. Figuur 6 geeft het principe weer.

CONCLUSIE

Tunnelventilatie wijkt, vooral bij lange tunnels, wat betreft de berekeningsmethodiek en veiligheidseisen sterk af van "normale" utiliteitsinstallaties. Door de beperkte vluchtroutes, de grote productie van uitlaatgassen en potentiële giftigheidbronnen (vervoer gevaarlijke stoffen) in een tunnel worden hoge eisen gesteld aan de veiligheidsinstallaties. De grote lengte en de diepe ligging van de Westerscheldetunnel maken het project voor Nederlandse begrippen extra interessant en verhogen de complexiteit. Voor de Westerscheldetunnel zijn uitgebreide berekeningen gemaakt om tot een veilige beademing en veilige vluchtwegen van deze tunnel te komen. 

LITERATUUR

1. Ventilatie van autotunnels, Aanbevelingen 1991, KIVI
2. Publicatie N 110 "Invloed veiligheidsvoorzieningen van tunnels op de risico's voor gebruikers en constructie", april 1997, CUR/COB
3. Publicatie N110-2 "Veiligheidsvoorzieningen van tunnels", CUR/COB
4. Tunnellüftung Westerschelde Oeververbinding, Schindler Haerter AG, oktober 1992



Principeschema ventilatie van een dwarsverbinding in geval van een calamiteit.

FIGUUR 6