

Met: Enata.

CENTRALE STUDIEDIENST

RIJKSWATERSTAAT

Nota:

ZOUTBEZWAAR VAN EEN
ZEESLUIS.



Januari
1952

C 1265

Errata bij de nota

Zoutbezwaar van een zeesluis

door Dr. ir. J.C. Schönfeld.



p.3 , regel 4 na formule (4), lees:

$$V_2 = \alpha \cdot B h_1$$

p.7 , regel 12, i.p.v. volledige, lees: onvolledige

p.8 , laatste regel, lees:

zoet water: $[(1-\varphi_1)(1-\eta) + \alpha + \varphi_2 \eta - \varphi_1 \varphi_2 (1-\eta)] B h_1$

p.9 , regel 3, i.p.v. evenwel, lees: evenveel

, regel 14, lees:

zoet water: $\frac{1}{1+\alpha} [(1-\varphi_1)(1-\eta) + \alpha + \varphi_2 \eta + \varphi_1 \varphi_2 (1-\eta)] B h_1$

p.10, regel 17, i.p.v. het kanaal, lees: de buitenhaven

, regel 18, i.p.v. zoetwater, lees: zout water

, formule (10), lees:

$$\lambda = \varphi_1 \varphi_2 \frac{1 - \left(\frac{1-\varphi_1}{\varphi_1} + \frac{1-\varphi_2}{\varphi_2} \right) \alpha}{1 - (1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

p.14, formule (12), lees:

$$\lambda = \varphi_1 \varphi_2 \frac{1 - \frac{1-\varphi_1}{\varphi_1} \theta \alpha - \left(1 + \frac{1-\varphi_1}{\varphi_1} \frac{(1-\theta)\alpha}{1+\alpha} \right) \left(\frac{1-\varphi_2}{\varphi_2} \sqrt{\alpha + \beta} \right)}{1 - \frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha} (1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

, formule (13), lees:

$$\lambda = \mu \varphi_1 \varphi_2 \frac{1 - \frac{1-\varphi_1}{\varphi_1} \theta \alpha - \left(1 + \frac{1-\varphi_1}{\varphi_1} \frac{(1-\theta)\alpha}{1+\alpha} \right) \left(\frac{1-\varphi_2}{\varphi_2} \sqrt{\alpha + \beta} \right)}{1 - \frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha} (1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

p.17, tabel, regel 3, kolom 4, i.p.v. $\lambda = \frac{5}{14} = 0,36$, lees: $\lambda = \frac{25}{57} = 0,35$

, regel 4, kolom 4, i.p.v. $\lambda = \frac{124}{291} = 0,42$, lees: $\lambda = \frac{124}{291} = 0,43$

p.19, 2^e tabel, regel 4, kolom 3, i.p.v. $\lambda = \frac{5}{66} = 0,09$, lees: $\lambda = \frac{5}{66} = 0,08$

p.22, tabel, regel 1, kolom 1, i.p.v. $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, lees: $\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3}$

ZOUTBEZWAAR VAN EEN ZEESLUIS

door Dr. Ir. J. C. Schönfeld.

Par. 1 Inleiding.

Onder een zeesluis verstaan we hier een sluis die dient voor het schutten van schepen tussen een buitenwater met hoog zoutgehalte en een binnenwater met laag zoutgehalte. Om de gedachte te bepalen beschouwen we een sluis tussen een buitenhaven en een kanaal; dit is bijvoorbeeld het geval in IJmuiden en in Terneuzen.

Door het schutten met zulk een sluis wordt het kanaal bezwaard met zout dat afkomstig is uit de buitenhaven. Deels is dit een gevolg van het zoute schutwater waarmee de kolk bij buitenwaterstanden die hoger zijn dan het kanaalpeil, wordt bijgevuld. Toch is dit doorgaans niet de voornaamste oorzaak van het zoutbezwaar door een zeesluis.

Een meestal veel belangrijker oorzaak van het zoutbezwaar is gelegen in de uitwisseling van zout en zoet water bij het openstaan van de sluisdeuren, zowel de buitendeuren als de binnendeuren. Deze uitwisseling is het gevolg van het verschil in soortelijk gewicht tussen het water in de kolk en het water in de buitenhaven, respectievelijk het kanaal. Hierdoor wordt bij het openstaan der buitendeuren het zoeter water uit de kolk verdrongen door zout water uit de buitenhaven, en evenzo dringt bij het openstaan der binnendeuren het zoutere water uit de kolk langs de bodem in het kanaal, terwijl de kolk zich met zoet water uit het kanaal vult.

Van de twee factoren die het zoutbezwaar bepalen, namelijk het schutwater en de uitwisseling, is de laatste meestal sterk overheersend. Dit betekent niet alleen dat er nog zoutbezwaar blijft optreden bij gelijke waterstanden binnen en buiten, maar dat er ook nog zoutbezwaar kan zijn bij waterstanden die buiten aanzienlijk lager zijn dan binnen, dus in het geval dat er grote hoeveelheden schutwater uit het kanaal op de buitenhaven worden gebracht.

Zoutbezwaar per schut-cyclus.

Onder een schut-cyclus (ook wel genaamd kolkomzetting) verstaan we een volledige reeks van schut-fasen, te weten:

1. de kolk is op het peil van de buitenhaven, en de buitendeuren worden één of meermalen opengezet.
2. de kolk wordt op het peil van het kanaal gebracht.
3. de kolk is op het peil van het kanaal, en de binnendeuren worden één of meermalen opengezet.
4. de kolk wordt op het peil van de buitenhaven gebracht

Op de vierde fase volgt weer de eerste fase. We beschouwen in het bijzonder een gesloten cyclus, waaronder we dan verstaan een cyclus waarbij de zoutinhoud van de kolk aan het einde van de cyclus gelijk is aan de zoutinhoud aan het begin.



Stel nu:

h_1	(m)	hoogte buitenwaterspiegel	boven bodem kolk
h_2	(m)	"	binnenwaterspiegel " " "
B	(m ²)	oppervlak	kolk
V_1	(m ³)	zoutwaterbezwaar	per shut-cyclus
V_2	(m ³)	zoetwaterverlies	" " "
V_3	(m ³)	schutwater	" " "
c_1	(kg/m ³)	zout-(chlor-)gehalte van het buitenwater nabij	de sluis
c_2	(kg/m ³)	" " " " "	binnenwater nabij de sluis
c_3	(kg/m ³)	" " " " "	voedingswater
Z	(kg)	" " bezwaar	per cyclus
α		coëfficiënt van het schutwater	
λ		coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar.	

Het zoutwater-bezwaar V_1 is het volumen zout water dat in verloop van één gesloten shut-cyclus, uit de buitenhaven in de kolk, en weer uit de kolk in het kanaal komt. Het zoetwater-verlies V_2 is het volumen zoetwater dat in verloop van één gesloten shut-cyclus uit het kanaal in de kolk, en weer uit de kolk in de buitenhaven komt. Bij een gesloten cyclus gaat er in verloop van de cyclus evenveel water in de kolk als er uitgaat, en er gaat ook evenveel zout in als er uit gaat. Het directe zout- of chlor-bezwaar van een gesloten shut-cyclus is dus

$$V_1 c_1 - V_2 c_2.$$

Onder het schutwater verstaan we het verschil tussen de hoeveelheid water die in verloop van een shut-cyclus aan het kanaal onttrokken wordt, en de hoeveelheid die er op gebracht wordt, dus:

$$(1) \quad V_3 = V_2 - V_1.$$

In het algemeen kan het schutwater van een gesloten shut-cyclus gelijkgesteld worden aan het verschil in inhoud van de kolk bij het peil van het kanaal en bij het peil van de buitenhaven, dus:

$$(2) \quad V_3 = B(h_2 - h_1).$$

We rekenen het schutwater van de gesloten cyclus negatief, wanneer de buitenhaven op een hoger peil is dan het kanaal.

Het grootste zoutwater-bezwaar en het grootste zoetwater-verlies ontstaan wanneer de buitendeuren zo lang open staan dat de kolk zich geheel met zout water vult, en de binnendeuren zo lang open staan dat de kolk zich weer geheel met zoet water vult. In dat geval bevat de kolk na het sluiten van de buitendeuren een volumen zout water, groot

$$B h_1.$$

Hierna wordt de kolk op het peil van het kanaal gebracht, hetzij door afletten van zout water op het kanaal, hetzij door bijvullen met zoet water uit het kanaal, doch in beide gevallen zal dan, naat de binnendeuren voldoende lang open

hebben gestaan om de kolk geheel te doen verzoeten, het gehele volumen zout water op het kanaal zijn gebracht. Het grootste zoutwater-bezwaar is dus

$$V_1 = Bh_1.$$

Het zoete water waarmee de kolk nu gevuld is, komt bij het op buitenpeil brengen van de kolk en het voldoende lang openstaan van de buitendeuren, geheel in de buitenhaven, en het grootste zoetwater-verlies is dus

$$V_2 = Bh_2.$$

Het schutwater is natuurlijk ook in dit geval gelijk aan

$$V_2 - V_1.$$

Onder de coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar, λ , verstaan we:

$$(3) \quad \lambda = V_1 : Bh_1.$$

Deze coëfficiënt wordt ook wel uitwisselingscoëfficiënt genoemd, doch dat hebben wij hier niet gedaan, ten eerste om verwarring met de in par. 2 onder A gedefiniëerde uitwisselingscoëfficiënten voor binnen- en buitendeuren te vermijden, en ten tweede omdat de hier gekozen naam ons juister voorkomt.

Verder verstaan we onder de coëfficiënt van het schutwater:

$$(4) \quad \alpha = \frac{h_2 - h_1}{h_1}$$

Deze is dus positief als het buitenpeil lager, en negatief als het hoger is dan het binnenpeil. Voor het schutwater kunnen we volgens (2) en (4)

$$stellen. \quad V_3 = \alpha \cdot Bh_1$$

Om het werkelijke zout- of chloor-bezwaar van een schut-cyclus te bepalen, moeten we het directe zout- of chloor-bezwaar nog vermeerderen met de hoeveelheid zout of chloor die op het kanaal wordt gebracht met het voedingswater dat dient om het verloren gegane schutwater weer aan te vullen. Deze hoeveelheid is

$$V_3 c_3.$$

Het werkelijke zout- of chloor-bezwaar is dus

$$(5) \quad Z = V_1 c_1 - V_2 c_2 + V_3 c_3.$$

Het in acht nemen van (1) en (3) wordt dit

$$(6) \quad Z = \lambda Bh_1 (c_1 - c_2) - \alpha Bh_1 (c_2 - c_3).$$

Het zoutbezwaar valt dus uiteen in twee termen. De eerste term is het product van het zoutwater-bezwaar, en het verschil in gehalte tussen buitenhaven en kanaal. De tweede term, waardoor het zout-bezwaar vermindert, is het product van het vereiste voedingswater, en het verschil tussen het gehalte dat dit voedingswater heeft gekregen bij het bereiken van de sluis, en het gehalte dat het had toen het op het kanaal werd gebracht.

Daar de tweede term in het zout-bezwaar eigenlijk meer betrekking heeft op de zout-huishouding van het kanaal dan op die van de sluis, mogen we, wat de sluis betreft, onze aandacht wel in hoofdzaak op de eerste term richten, die trouwens doorgaans ook belangrijk groter is dan de tweede. Dit houdt in, dat we ons bezig zullen houden met het zoutwater-bezwaar, waaruit immers de eerste term van het

zoutbezwaar onmiddellijk te vinden is door met $(c_1 - c_2)$ te vermenigvuldigen.

Zoutwater-fractie.

In de verschillende fasen van de schut-cyclus krijgen we te maken met watermassa's wier zoutinhoud tussen die van zout water (gehalte c_1) en zoet water (gehalte c_2) in liggen. We zullen hierna de zoutinhoud van zulke watermassa's bij voorkeur kenmerken door hun zoutwater-fractie. Wij denken zo'n watermassa dan samengesteld uit een hoeveelheid zout water uit de buitenhaven met zout-(chloor-)gehalte c_1 , en een hoeveelheid zoet water uit het kanaal met zout-(chloor-)gehalte c_2 . Onder de zoutwater-fractie verstaan we dan die hoeveelheid zout water, gedeeld door de totale hoeveelheid water.

Hierbij blijft in het midden, of het zoute water en het zoete water met elkaar gemengd zijn, geheel of gedeeltelijk, of niet.

Is ξ de zoutwater-fractie van een hoeveelheid water V , dan denken we ons deze hoeveelheid dus samengesteld uit een hoeveelheid zout water met zout-(chloor-)gehalte c_1 , groot

$$\xi V$$

en een hoeveelheid zoet water met zout-(chloor-)gehalte c_2 , groot

$$(1 - \xi)V.$$

De totale zoutinhoud van het beschouwde water is dan

$$[\xi c_1 + (1 - \xi)c_2]V,$$

en

$$c = \xi c_1 + (1 - \xi)c_2$$

is het gemiddelde zout-(chloor-)gehalte van dat water.

De grootheid $(1 - \xi)$ zullen we de zoetwater-fractie noemen.

Par. 2 Factoren die het zoutwaterbezwaar verminderen;
doel van deze nota.

Er kunnen drie oorzaken zijn waardoor het zoutwaterbezwaar kleiner is dan het volumen van de kolk bij buitenpeil.

In de eerste plaats wordt het zoutwaterbezwaar vermindert wanneer de deuren slechts korte tijd open staan. Staan de buitendeuren slechts korte tijd open, dan zal de kolk slechts gedeeltelijk verzilten, zodat de zoutinhoud van de kolk bij het openen van de binnendeuren, kleiner is dan in het geval van maximaal zoutwaterbezwaar. Staan nu ook de binnendeuren slechts kort open, dan zal van de zoutinhoud van de kolk ook nog maar weer een fractie op het kanaal komen. Zowel het kort openstaan van de buitendeuren, als van de binnendeuren, brengt dus een kleiner zoutwaterbezwaar mee.

In de tweede plaats wordt het zoutwaterbezwaar vermindert wanneer een schip naar binnen geschut wordt. Het schip beperkt door zijn waterverplaatsing de ruimte in de kolk die zich met zout water kan vullen, en daardoor de hoeveelheid zout water waarmee het kanaal bij die schutting maximaal bezwaard kan worden.

In de derde plaats kan men het zoutwaterbezwaar verminderen door in geval van bijvullen van de kolk uit het kanaal, daarvoor zouter water te gebruiken dan zich gemiddeld in het kanaal bevindt. Zulk zouter water zal men in het algemeen uit de onderste lagen bij de bodem van het kanaal kunnen betrekken, vooral wanneer ter beperking van de verzilting van het kanaal, het zoute water dat door het schutten op het kanaal komt, zoveel mogelijk wordt opgevangen in een plaatselijke verdieping van het kanaal (zoutwaterzak).

In overeenstemming hiermee zal men ook kunnen trachten zoveel mogelijk uit de onderste lagen van de kolk af te laten.

Het doel van deze nota is, de resulterende invloed van deze factoren na te gaan. Wij zullen er daarbij van uitgaan, dat de invloed van elk der factoren afzonderlijk bekend is, en door één of meer coëfficiënten kan worden gekenmerkt. We zullen dit voor elk der drie hiervoor genoemde factoren kort bespreken.

A. Invloed van de uitwisseling.

Bij het opengaan van de sluisdeuren, zetten vereffeningsstromen door het sluishoofd in, die een uitwisseling van water in de kolk en water in het kanaal of de buitenhaven bewerken. Deze vereffeningsstromen zijn een gevolg van het verschil in dichtheid aan weerszijden van het sluishoofd.

Is bijvoorbeeld de kolk gevuld met overwegend zout water, en worden de deuren naar het veel zoetere kanaal geopend, dan zet een zoute onderstroming in het sluishoofd van de kolk naar het kanaal, en een zoete bovenstroming van het kanaal naar de kolk in. Daardoor wordt de zoutwater-fractie in de kolk verkleind, en de zoetwater-fractie vergroot.

Bij het sluiten van de deuren wordt het uitwisselingsproces gestaakt. De dan bereikte mate van uitwisseling zullen we door een uitwisselingscoëfficiënt weergeven.

Het is te merken dat het uitwisselingsproces theoretisch zeer gecompliceerd is, en dat het in rekening brengen van alle bepalende factoren niet op eenvoudige wijze kan geschieden. Inmiddels nemen wij wel tot een kwalitatieve, en gedeeltelijk ook kwantitatieve analyse van deze bepalende factoren te kunnen komen. Wij zijn voorrezens da'rop in een afzonderlijke nota in te gaan.

In deze nota zullen wij ons inmiddels op het standpunt

stellen dat het uitwisselingsproces voor het hier nagestreefde doel voldoende rekenmerkt is door de uitwisselingscoëfficiënt.

Onder de uitwisselingscoëfficiënt bij de buitendeuren, φ_1 , verstaan we dat deel van de zoetwater-fractie in de kolk, dat na het openstaan der buitendeuren vervangen is door zout water uit de buitenhaven.

Onder de uitwisselingscoëfficiënt bij de binnendeuren, φ_2 , verstaan we dat deel van de zoutwater-fractie in de kolk, dat na het openstaan van de binnendeuren vervangen is door zoet water uit het kanaal.

Zout en zoet water.

In verband met de uitwisseling moeten we nog wel ingaan op een andere questie, namelijk de betekenis die aan de termen zout en zoet water moet worden toegekend.

Noch in het kanaal, noch in de buitenhaven zal het water geheel homogeen zijn, doch er zal een min of meer uitgesproken gelaagdheid zijn, met zoetere, dus lichtere lagen boven, en zoutere, dus zwaardere lagen onder. We zullen dus moeten preciseren wat we onder zout, en wat we onder zoet water verstaan. Daarom redeneren we als volgt:

Laten we eens even aannemen, dat de kolk gevuld is met zout water, en dat zich in het kanaal een zoute onderlaag bevindt, met daarboven zoet water. Nu werken er tengevolge van de verschillen in soortelijk gewicht, krachten die uitwisseling tussen het zoete water in het kanaal en het zoute water in de kolk bewerken. Het soortelijk gewicht van het water op de bodem van het kanaal zal echter niet of weinig verschillen van het soortelijk gewicht van het water in de kolk, en er zijn dus geen of slechts zwakke krachten die uitwisseling tussen het zoute water op de bodem van het kanaal, en het zoute water in de kolk bewerken.

Hieruit volgt dat het zoute water op de bodem van het kanaal in veel mindere mate aan de uitwisseling deel neemt, dan het zoete water uit de hogere lagen.

Door een diepergaande analyse van het uitwisselingsproces (die we in de hiervoor reeds aangekondigde tweede nota zullen bespreken) blijkt inderdaad dat een niet te dikke zoute laag op de bodem van het kanaal, geen of slechts een zeer geringe invloed op het uitwisselingsproces heeft.

Ook blijkt dat een niet te dikke zoete laag aan de oppervlakte van de buitenhaven, geen of nagenoeg geen invloed op het uitwisselingsproces tussen kolk en buitenhaven heeft.

Onder zoet water verstaan we dus water met het gemiddelde zoutgehalte van de hogere lagen in het kanaal, en onder zout water verstaan we water met het gemiddelde zoutgehalte van de onderste lagen in de buitenhaven.

B. Invloed van de scheepvaart.

De scheepvaart heeft op verschillende manieren invloed op het zoutwater-bezwaar.

In de eerste plaats verminderen schepen in de kolk de hoeveelheid water die uitgewisseld kan worden. De invloed hiervan is eenvoudig na te gaan indien we veronderstellen dat er volledige uitwisseling plaats vindt.

Laat V_w de waterverplaatsing zijn van de naar binnen geschutte schepen, gemiddeld over alle schut-cycli (dus ook de schut-cycli waarbij alleen naar buiten geschut wordt, meegeteld). De inhoud in de kolk die zich bij het open staan der buitendeuren met zout water kan vullen, wordt dan van

$$Bh_1$$

tot

$$Bh_1 - V_w$$

gereduceerd. Daarmee wordt dus het zoutwater-bezwaar bij volledige uitwisseling gereduceerd met een factor

$$\mu = \frac{Bh_1 - V_w}{Bh_1} = 1 - \frac{V_w}{Bh_1}$$

Bij ^{on}volledige uitwisseling is de invloed van de scheepvaart moeilijker na te gaan, omdat de schepen een moeilijk te becijferen invloed op het verloop van het uitwisselingsproces hebben. In de eerste plaats hebben de schepen door hun beperkte diepgang meer invloed op de meer in de hogere lagen geconcentreerde zoet-water-fractie, dan op de zoutwater-fractie in de kolk. Verder liggen de schepen min of meer in de weg van de vereffeningsstromen in de kolk. Ten slotte versterken de schepen, onder andere door hun schroeven, de menging van de boven- en onderlagen in de kolk.

Bovendien heeft de versterkte menging door de schepen niet alleen direct invloed op de uitwisseling, maar ook wordt, indirect, daardoor het rendement van een eventuele zoutwaterzak in het kanaal verminderd.

Het is moeilijk de factoren die bij onvolledige uitwisseling gran meespreken, quantitatief te bejorden. Daarom zullen we er mee volstaan de invloed van de scheepvaart, ook bij onvolledige uitwisseling, in rekening te brengen met de factor μ die voor volledige uitwisseling geldt. Daarbij kunnen we de mogelijkheid voor ogen houden, aan deze factor een afwijkende waarde te geven, wanneer daarvoor op grond van nader inzicht aanleiding zal zijn.

C. Invloed van bijvullen en aflaten.

We beschouwen nu het geval dat het kanaal op een hoger peil is dan de buitenhaven, zodat bij het schutten de kolk wordt bijgevuld uit het kanaal, en afgelaten op de buitenhaven.

Zoals hiervoren reeds betoogd werd, zal het zoutwater-bezwaar dan verminderd kunnen worden, door de kolk niet met zoet water uit het kanaal, doch met zo zout mogelijk water uit de onderlagen van het kanaal bij te vullen, en ook tevens zoveel mogelijk uit de zoutere onderste lagen van de kolk op de buitenhaven af te laten. We zullen nagaan hoe groot de invloed hiervan is.

Eerst bepalen we het zoutwater-bezwaar indien we voor bijvullen van de kolk het zoete water uit de hogere lagen van het kanaal nemen. We noemen dit zoet bijvullen; het is de ^{ongunstigste} ~~gunstigste~~ manier om de kolk bij te vullen. Verder zullen we aannemen dat het water dat uit de kolk wordt afgelaten op de buitenhaven, een gehalte heeft gelijk aan het gemiddelde gehalte van het water dat zich dan in de kolk bevindt. We noemen dit gemengd aflaten. Ook dit is praktisch wel het ongunstigste geval, omdat het aflaten van overwegend zoet water zou veronderstellen, dat de aflater-riolen zeer hoog zouden zijn aangebracht, wat een onwaarschijnlijke constructie is.

Tegenover dit ongunstigste geval stellen we als gunstigste geval, dat er een zoutwaterzak in het kanaal is met een zo hoog effect, dat we daaruit voor het bijvullen van de kolk, water kunnen betrekken met een even hoog zoutgehalte als in de buitenhaven. (zout bijvullen). Bovendien zullen we aannemen dat we dan ook weer water met datzelfde zoutgehalte uit de kolk op de buitenhaven kunnen aflaten. (zout aflaten).

Laat η de zoutwater-fractie in de kolk zijn vóór de eerste fase van de schut-cyclus, dus ná het aflaten, en vóór het openen van de buitendeuren. De zoetwater-fractie is dan $1-\eta$. We denken ons de inhoud van de kolk dus samengesteld uit een volumen

ηBh_1
zout water uit de buitenhaven, en een volumen

$(1-\eta)Bh_1$
zoet water uit de hogere lagen van het kanaal. Hierbij laten we in het midden of het zoute en het zoete water in twee scherp gescheiden lagen aanwezig zijn, dan wel als een homogeen mengsel, dan wel in een tussenvorm daarvan.

We lopen nu de schut-cyclus in het ongunstigste geval na:

Zoet bijvullen, gemengd aflaten.

Bij het begin van de schut-cyclus bevindt zich in de kolk:

zout water: ηBh_1

zoet water: $(1-\eta)Bh_1$.

Eerste fase, openstaan van de buitendeuren.

Van de inhoud aan zoet water wordt een deel φ_1 vervangen door zout water. Aan het eind van de eerste fase is dus in de kolk:

zout water: $[\eta + \varphi_1(1-\eta)] Bh_1$

zoet water: $(1-\varphi_1)(1-\eta) Bh_1$.

Tweede fase, bijvullen uit het kanaal.

We vullen bij met zoet water, en het volumen daarvan is

$$\alpha Bh_1$$

Aan het einde van de tweede fase hebben we dus in de kolk:

zout water: $[\eta + \varphi_1(1-\eta)] Bh_1$

zoet water: $[(1-\varphi_1)(1-\eta) + \alpha] Bh_1$.

Derde fase, openstaan van de binnendeuren.

Uitgewisseld wordt een volumen

$$\varphi_2 [\eta + \varphi_1(1-\eta)] Bh_1$$

zout water, tegen even veel zoet water. Aan het eind van de derde fase is dus in de kolk:

zout water: $(1-\varphi_2) [\eta + \varphi_1(1-\eta)] Bh_1$

zoet water: $[(1-\varphi_1)(1-\eta) + \alpha + \varphi_2\eta + \varphi_1\varphi_2(1-\eta)] Bh_1$.

Vierde fase, aflaten op de buitenhaven.

Verondersteld is dat gemengd wordt afgelaten, naar evenredigheid evenveel van het zoute als van het zoete water. In totaal wordt afgelaten

$\alpha B h_1$
van het volumen
 $(1+\alpha) B h_1$,
dus een fractie

$$\frac{\alpha}{1+\alpha}$$

Cok van het zoute en van het zoete water worden zelfde fracties afgelaten, zodat we aan het eind van de vierde fase in de kolk hebben:

zout water: $\frac{1}{1+\alpha} [(1-\varphi_2)\eta + (1-\varphi_2)\varphi_1(1-\eta)] B h_1$

zoet water: $\frac{1}{1+\alpha} [(1-\varphi_1)(1-\eta) + \alpha + \varphi_2\eta + \varphi_1\varphi_2(1-\eta)] B h_1$

We nemen aan dat de schut-cyclus gesloten is, dus dat er aan het eind even veel zout water in de kolk is als aan het begin van de cyclus. Dit geeft de vergelijking

$$\eta = \frac{1}{1+\alpha} [(1-\varphi_2)\eta + (1-\varphi_2)\varphi_1(1-\eta)],$$

waaruit we η oplossen:

(7)
$$\eta = \frac{\varphi_1(1-\varphi_2)}{1+\alpha - (1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

Het zoutwater-bezwaar is in dit geval de hoeveelheid zout water die bij de uitwisseling door de binnendeuren uit de kolk op het kanaal is gekomen. De coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar is dus

$$\lambda = \varphi_2[\eta + \varphi_1(1-\eta)].$$

Hierin substitueren we η volgens (7):

(8)
$$\lambda = \varphi_1\varphi_2 \frac{1}{1 - \frac{1}{1+\alpha}(1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

Deze formule geldt dus voor zoet bijvullen en gemengd aflaten.

Nu beschouwen we het gunstigste geval:

Zout bijvullen, zout aflaten.

Bij het begin van de schut-cyclus is in de kolk:

zout water: $\eta B h_1$

zoet water: $(1-\eta) B h_1$.

Eerste fase, openstaan van de buitendeuren.

Aan het eind van de eerste fase is in de kolk:

zout water: $[\varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta] B h_1$

zoet water: $(1-\varphi_1)(1-\eta) B h_1$.

Tweede fase, bijvullen uit het kanaal.

We vullen bij met zout water, dus er gaat een volumen zout water, groot

$$\alpha Bh_1$$

uit het kanaal naar de kolk. Aan het eind van de tweede fase is in de kolk:

$$\text{zout water: } [\varphi_1 + (1 - \varphi_1)\eta + \alpha] Bh_1$$

$$\text{zoet water: } (1 - \varphi_1)(1 - \eta) Bh_1$$

Derde fase, openstaan van de binnendeuren.

Er gaat een volumen

$$\varphi_2 [\varphi_1 + (1 - \varphi_1)\eta + \alpha] Bh_1$$

zout water uit de kolk naar het kanaal, en een even groot volumen zoet water uit het kanaal naar de kolk. Aan het eind van de derde fase is in de kolk:

$$\text{zout water: } (1 - \varphi_2) [\varphi_1 + (1 - \varphi_1)\eta + \alpha] Bh_1$$

$$\text{zoet water: } [1 - \varphi_1 + \varphi_1 \varphi_2 + \varphi_2 \alpha - (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)\eta] Bh_1$$

Vierde fase, aflaten van water op het kanaal, de buitenhaven.

Afgelaten wordt een volumen ~~zout~~ water, groot

$$\alpha Bh_1$$

Aan het eind van de vierde fase is in de kolk:

$$\text{zout water: } [(1 - \varphi_2)\varphi_1 + (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)\eta + (1 - \varphi_2)\alpha - \alpha] Bh_1$$

$$\text{zoet water: } [1 - \varphi_1 + \varphi_1 \varphi_2 + \varphi_2 \alpha - (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)\eta] Bh_1$$

We veronderstellen weer dat de cyclus gesloten is, en stellen de zoutinhoud aan begin en einde van de cyclus gelijk

$$\eta = (1 - \varphi_2)\varphi_1 + (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)\eta - \varphi_2 \alpha$$

Hieruit lossen we η op:

$$(9) \quad \eta = \frac{\varphi_1(1 - \varphi_2) - \varphi_2 \alpha}{1 - (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)}$$

Het zoutwater-bezwaar bestaat in dit geval uit het volumen zout water dat bij het openstaan van de binnendeuren op het kanaal is gekomen, verminderd met het volumen van het zoute water waarmee de kolk is bijgevuld. We krijgen dus voor de coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar:

$$\lambda = \varphi_2 [\varphi_1 + (1 - \varphi_1)\eta + \alpha] - \alpha$$

Hierin substitueren we (9):

$$(10) \quad \lambda = \varphi_1 \varphi_2 \frac{1 - \left(\frac{1 - \varphi_1}{\varphi_1} + \frac{1 - \varphi_2}{\varphi_2}\right) \alpha + \frac{(1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)}{\varphi_1 \varphi_2} \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}}{1 - (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)}$$

Deze formule geldt dus voor zout bijvullen en zout aflaten.

Voorbeeld van de invloed van bijvullen en aflaten.

Om de praktische betekenis van de afgeleide formules te demonstreren, beschouwen we eens het geval dat

$$\alpha = \frac{1}{6}; \quad \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{3}{4}$$

Dit is een dergelijk geval als de nieuwe Zeevaartsluis in Terneuzen.

In het ongunstigste geval, dus zoet bijvullen en genogd aflaten, is volgens (8)

$$\lambda = \frac{63}{106} = 0,59$$

en het zoutwater-bezwaar is dan

$$\frac{63}{106} Bh_1$$

In het gunstigste geval, dus zout bijvullen en zout aflaten, is volgens (10)

$$\lambda = \frac{8}{15} = 0,53,$$

en het zoutwater-bezwaar is dan

$$\frac{8}{15} Bh_1$$

De vermindering van het zoutwater-bezwaar als gevolg van het met zout water bijvullen en het aflaten van zout water, bedraagt dus

$$\left(\frac{63}{106} - \frac{8}{15}\right) Bh_1 = \frac{97}{1590} Bh_1 = 0,06 Bh_1.$$

Het is wel aardig na te gaan hoeveel spuiwater we door zout bijvullen en zout aflaten kunnen besparen. Om dit uit te rekenen, nemen we aan dat we volledig zout water kunnen spuien; immers, wanneer we veronderstellen in staat te zijn de kolk uit het kanaal met volledig zout water bij te vullen, dan moet, om tot een goede vergelijking te komen, ook het spuien van zout water als mogelijk worden aangenomen. We vinden dan dat we voor het verkrijgen van een zoutafvoer equivalent met bovenstaande afname van het zoutbezwaar, een hoeveelheid

$$\frac{97}{1590} Bh_1$$

zouden moeten spuien. Deze hoeveelheid is gelijk aan

$$\frac{97}{265} V_s$$

dus het bespaarde spuiwater is 37% van het schutwater.

In werkelijkheid zal de vermindering van het zoutwater-bezwaar nog belangrijk lager zijn dan $0,06 Bh_1$, omdat het in feite wel niet mogelijk zal zijn de kolk bij te vullen met water van hetzelfde zoutgehalte als het water in de buitenhaven, en ook het water waarmee men aflaat een lager zoutgehalte zal hebben.

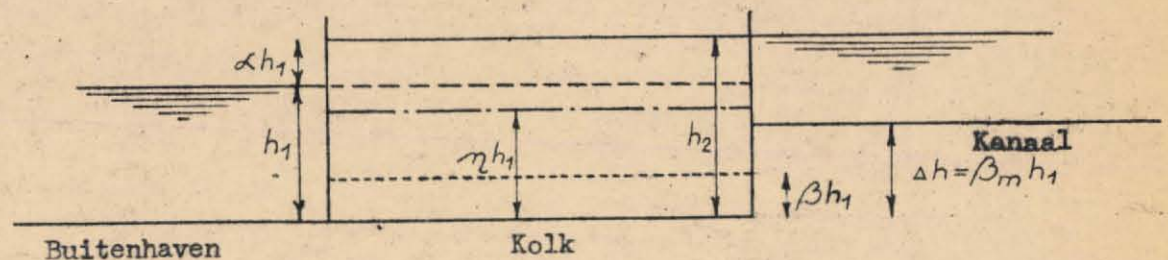
De verklaring voor het feit, dat het bijvullen van de kolk met zout water in plaats van zoet water slechts een zo betrekkelijk gering effect heeft, is onder andere daarin gelegen, dat door het zout bijvullen, de zoutinhoud van de kolk vóór het openen van de binnendeuren groter wordt dan bij zoet bijvullen het geval is. Daardoor wordt de uitwisseling bij het openstaan van de binnendeuren versterkt, zodat het effect van het zout bijvullen weer gedeeltelijk te niet gaat. De afname van het zoutwater-bezwaar zal zelfs nog kleiner zijn dan we hierboven aangaven, omdat bij een grotere zoutinhoud van de kolk het uitwisselingsproces in het algemeen nog iets versneld zal worden, zodat we eigenlijk ook nog een grotere uitwisselingscoëfficiënt in rekening hadden moeten brengen.

Par. 3 Invloed van drempels.

In het algemeen zal de bodem van de kolk lager liggen dan de drempels van de sluishoofden. Tussen de drempels wordt dus een soort van zak gevormd, waarin zich vooral het zoute water door zijn groter soortelijk gewicht zal verzamelen.

We mogen verwachten dat het water in zulk een zak minder gemakkelijk aan het uitwisselingsproces zal deelnemen, dan het water uit de lagen, die hoger dan de drempel liggen. Is de zak niet zeer diep, dan zal dit effect slechts geringe betekenis hebben, en dan zal het, gezien hoe moeilijk het is de uitwisselingscoëfficiënt nauwkeurig te bepalen, weinig zin hebben dit zak-effect afzonderlijk in rekening te brengen.

Er zijn echter situaties mogelijk waarin de zak een aanzienlijke diepte heeft. Dit doet zich bijvoorbeeld voor bij de ontworpen binnenvaartsluis bij Terneuzen. Hier zal de binnendrempel aanzienlijk hoger liggen dan de buitendrempel, en dus ook aanzienlijk hoger dan de kolkbodem, zodat er bij het openstaan van de binnendeuren een grote zak werkzaam is.



Om hier met het zak-effect rekening te houden, zullen we aannemen dat een deel van de zoutwater-fractie in de kolk niet aan de uitwisseling bij de binnendeuren deelneemt. Wij stellen de grootte van dit deel van de zoutwater-fractie op een laag met een dikte βh_1 . In het kiezen van de waarde van de coëfficiënt β kunnen we dan tot uitdrukking brengen hoeveel invloed we aan het zak-effect menen te moeten toekennen.

Zouden we van mening zijn dat er eigenlijk geen zak-effect was, dan zouden we β op nul stellen. Zouden we daarentegen menen dat het zak-effect zeer sterk was, dan zouden we β stellen op

$$\beta_m = \Delta h : h_1$$

waarbij Δh het verschil in hoogte tussen de binnendrempel, en de bodem van de kolk is.

Het meest redelijk is het, voor β een waarde tussen nul en β_m te nemen.

We beschouwen eerst het geval dat het buitenpeil lager is dan het binnenpeil. Dit doet zich bij Terneuzen bijna steeds, en bij IJmuiden gedurende een deel van de getijperiode voor.

We zullen de mate waarin we er in slagen de kolk met zout water bij te vullen, weergeven door de zoutwater-fractie γ . Het geval $\gamma=0$ komt dan overeen met zoet bijvullen, en het geval $\gamma=1$ met zout bijvullen.

Evenzo geven we het rendement van het zout aflaten weer door een coëfficiënt θ , zodanig dat het aflaat-water samengesteld gedacht wordt uit een fractie θ met het zoutgehalte van het zoute water in de buitenhaven, en een fractie $(1-\theta)$ met een zoutgehalte gelijk aan het gemiddelde zoutgehalte in de kolk. Het geval $\theta=0$ komt dus overeen met wat we hiervoor noemden "gemengd" aflaten, en het geval $\theta=1$ met zout aflaten.

We lopen nu de cyclus door.

Buitenpeil lager dan binnenpeil.

Bij het begin van de schut-cyclus is in de kolk:

zout water: ηBh_1

zoet water: $(1-\eta) Bh_1$

Eerste fase, openstaan de buitendeuren.

Aan het eind van de eerste fase is in de kolk:

zout water: $[\varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta] Bh_1$

zoet water: $(1-\varphi_1)(1-\eta) Bh_1$

Tweede fase, bijvullen uit het kanaal.

Bijgevuld wordt in totaal een hoeveelheid water, groot αBh_1 , samengesteld uit:

zout water: $r\alpha Bh_1$

zoet water: $(1-r)\alpha Bh_1$

Aan het eind van de tweede fase is dus in de kolk:

zout water: $[\varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta + r\alpha] Bh_1$

zoet water: $[(1-\varphi_1)(1-\eta) + (1-r)\alpha] Bh_1$

Derde fase, openstaan van de binnendeuren.

Aan het uitwisselingsproces wordt niet deelgenomen door een hoeveelheid zout water, groot βBh_1 .

Er wordt dus een hoeveelheid

$\varphi_2 [\varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta + r\alpha - \beta] Bh_1$

zout water tegen zoet water uitgewisseld. Aan het eind van de derde fase is dus in de kolk:

zout water: $[(1-\varphi_2) \{ \varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta + r\alpha \} + \varphi_2 \beta] Bh_1$

zoet water: $[(1-\varphi_2)(1-\eta) + (1-r)\alpha + \varphi_2 \{ \varphi_1 + (1-\varphi_1)\eta + r\alpha - \beta \}] Bh_1$

Vierde fase, aflaten op de buitenhaven.

In totaal wordt een hoeveelheid water, groot αBh_1

afgelaten. Deze is samenpesteld uit een hoeveelheid $\theta \alpha Bh_1$

zout water, en een hoeveelheid $(1-\theta)\alpha Bh_1$

gemengd water uit de kolk. We werken dit uit, door in gedachte eerst zout en zoet water af te laten in evenredigheid met de fracties zout en zoet water in de kolk, totdat de totale hoeveelheid van

$(1+\alpha) Bh_1$

tot

$$(1+\theta\alpha)Bh_1$$

verminderd is, en daarna nog een hoeveelheid

$$\theta\alpha Bh_1$$

zout water af te laten. Aan het eind van de vierde fase is dan in de kolk:

$$\text{zout water: } \frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha} [(1-\varphi_2)\{\varphi_1+(1-\varphi_1)\eta+\gamma\alpha\}+\varphi_2\beta]-\theta\alpha) Bh_1$$

$$\text{zoet water: } \frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha} [(1-\varphi_1)(1-\eta)+(1-\gamma)\alpha+\varphi_2\{\varphi_1+(1-\varphi_1)\eta+\gamma\alpha-\beta\}] Bh_1.$$

We nemen aan dat de schut-cyclus gesloten is, en dan is dus:

$$\eta = \frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha} [(1-\varphi_2)\{\varphi_1+(1-\varphi_1)\eta+\gamma\alpha\}+\varphi_2\beta]-\theta\alpha.$$

Hieruit lossen we η op:

$$(11) \quad \eta = \frac{(1+\theta\alpha)[(1-\varphi_2)(\varphi_1+\gamma\alpha)+\varphi_2\beta]-(1+\alpha)\theta\alpha}{1+\alpha-(1+\alpha\theta)(1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

Het zoutwater-bezwaar van de schut-cyclus bestaat uit de hoeveelheid zout water dat door het uitwisselen bij de binnendeuren op het kanaal is gebracht, verminderd met het zoete water waarmee de kolk is bijgevuld. Dus

$$\lambda = \varphi_2[\varphi_1+(1-\varphi_1)\eta+\gamma\alpha-\beta]-\gamma\alpha.$$

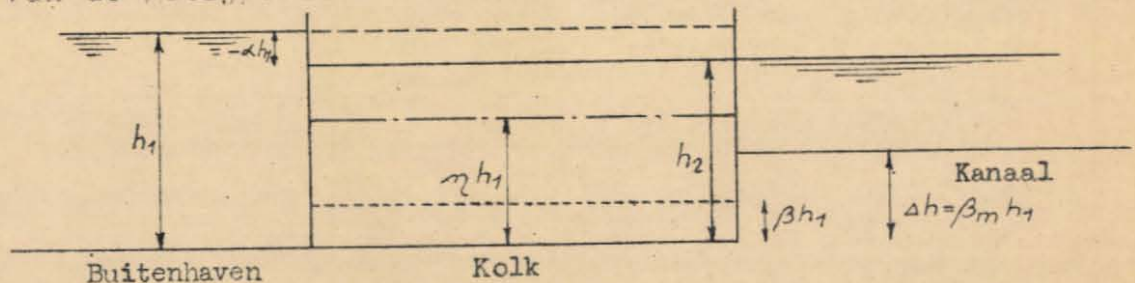
Hierin substitueren we voor η volgens (11):

$$(12) \quad \lambda = \varphi_1\varphi_2 \frac{1-\frac{1-\varphi_1}{\varphi_1}\theta\alpha - \left(1+\frac{1-\varphi_1}{\varphi_1}\frac{(1-\theta)\alpha}{1+\alpha}\right)\left(\frac{1-\varphi_2}{\varphi_2}\gamma\alpha+\beta\right)}{1-\frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha}(1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

Deze formule geldt dus voor het schutten met een buitenpeil dat lager is dan het binnenpeil. Hou en we nog rekening met de invloed van de scheepvaart, dan is

$$(13) \quad \lambda = \mu\varphi_1\varphi_2 \frac{1-\frac{1-\varphi_1}{\varphi_1}\theta\alpha - \left(1+\frac{1-\varphi_1}{\varphi_1}\frac{(1-\theta)\alpha}{1+\alpha}\right)\left(\frac{1-\varphi_2}{\varphi_2}\gamma\alpha+\beta\right)}{1-\frac{1+\theta\alpha}{1+\alpha}(1-\varphi_1)(1-\varphi_2)}$$

We beschouwen vervolgens het geval dat het buitenpeil hoger is dan het binnenpeil. Dit geval doet zich in Terneuzen slechts zelden, maar in IJmuiden gedurende meer dan de helft van de getijperiode voor.



De waarde van α is in dit geval negatief, daar h_2 kleiner is dan h_1 . De dikte van de laag die uit de buitenhaven moet worden bijgevuld, en die later weer op het kanaal wordt afgeleten, is dus $-\alpha h_1$, waarbij dan $(-\alpha)$, positief is.

Het zou voordelig zijn voor het verminderen van het zoutbezwaar, wanneer het bijvullen uit de buitenhaven met zoet water zou plaats vinden. Nu is het weliswaar in principe denkbaar dat de kolk wordt bijgevuld uit de zoete bovenlaag in de buitenhaven, die door het uitwisselen bij open staan van de buitendeuren in de buitenhaven is ontstaan, maar die zoete bovenlaag laat zich niet door middelen als een plaatselijke zak conserveren op de wijze als waarop de zoute onderlaag in het kanaal zich laat conserveren, en bovendien is

is het onttrekken van water aan de oppervlakte zoveel minder goed uit te voeren dan het onttrekken aan een diepe laag, dat men praktisch van het zoete bovenwater in de buitenhaven geen gebruik zal kunnen maken. We rekenen dus op bijvullen met zout water.

Bij het aflaten van water uit de kolk op het kanaal zou het eveneens enig voordeel geven het aflaat-water uit de bovenlaag in de kolk te betrekken. Doch dit voordeel zal in het algemeen niet opwegen tegen de technische complicaties die daaraan verbonden zouden zijn. We rekenen dus niet op aflaten van zoet water op het kanaal. We zullen er integendeel rekening mee houden, dat het aflaten kan plaats vinden door diep gelegen riolen, zodat overwegend zout water wordt afgelaten. We voeren dus een fractie θ in, zodanig dat het aflaat-water samengesteld gedacht wordt uit een fractie θ zout water, en een fractie $(1-\theta)$ gemengd water met het gemiddelde zoutgehalte van het water in de kolk vóór het aflaten.

We lopen nu de schut-cyclus na:

Buitenpeil hoger dan binnenpeil.

Bij het begin van de schut-cyclus is in de kolk:

zout water: ηBh_1

zoet water: $(1-\eta) Bh_1$.

Eerste fase, openstaan van de buitendeuren.

Aan het eind van de eerste fase is in de kolk:

zout water: $[\eta_1 + (1-\eta_1)\eta] Bh_1$

zoet water: $(1-\eta_1)(1-\eta) Bh_1$.

Tweede fase, aflaten op het kanaal.

afgelaten wordt een hoeveelheid water, groot

$$(-\alpha) Bh_1$$

Hiervan is een gedeelte, groot

$$\theta(-\alpha) Bh_1$$

zout, en een gedeelte, groot

$$(1-\theta)(-\alpha) Bh_1$$

gemengd. We laten eerst in gedachte de gemengde fractie af. Daarbij daalt de totale inhoud van

$$Bh_1$$

tot

$$\{1+(1-\theta)\alpha\} Bh_1$$

(bedenk dat α negatief is!). Zowel de zoutwater- als de zoetwater-fractie in de kolk vermindert dus in de verhouding

$$\frac{1+(1-\theta)\alpha}{1}$$

Vervolgens laten we nog de hoeveelheid

$$-\alpha\theta Bh_1$$

zout water af. Na de tweede fase is dan in de kolk:

zout water: $[\{1+(1-\theta)\alpha\}\{\eta_1 + (1-\eta_1)\eta\} + \alpha\theta] Bh_1$

zoet water: $\{1+(1-\theta)\alpha\} (1-\eta_1)(1-\eta) Bh_1$.

Derde fase, openstaan van de binnendeuren.

Aan het uitwisselingsproces wordt niet deelgenomen door een hoeveelheid zout water, groot

$$\beta Bh_1$$

Er wordt dus een hoeveelheid

$q_2 [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta - \beta] Bh_1$
 zout water tegen zoet water uitgewisseld. Aan het eind van de derde fase is dus in de kolk:

zout water: $((1-q_2) [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta] + q_2\beta) Bh_1$

zoet water: $(\{1+(1-\theta)\alpha\} (1-q_1)(1-\eta) + q_2 [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta - \beta]) Bh_1$

Vierde fase, bijvullen uit de buitenhaven.

Bijgevuld wordt een hoeveelheid

$$(-\alpha) Bh_1$$

zout water. Aan het eind van de vierde fase is dus in de kolk:

zout water: $((1-q_2) [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta] + q_2\beta - \alpha) Bh_1$

zoet water: $(\{1+(1-\theta)\alpha\} (1-q_1)(1-\eta) + q_2 [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta - \beta]) Bh_1$

De cyclus veronderstellen we gesloten, en dus:

$$\eta = (1-q_2) [\{1+(1-\theta)\alpha\} \{q_1+(1-q_1)\eta\} + \alpha\theta] + q_2\beta - \alpha$$

Hieruit lossen we η op:

$$(14) \quad \eta = \frac{1 - \{1+(1-\theta)\alpha\} (1-q_1) (1-q_2) - q_2(1+\alpha-\beta)}{1 - \{1+(1-\theta)\alpha\} (1-q_1) (1-q_2)}$$

Het resulterende zoutwater-bezwaar van de gehele schutcyclus is de hoeveelheid zout water die door het uitwisselen bij het openstaan van de buitendeuren in de kolk komt, groot

$q_1(1-\eta)$,
 vermeerderd met de hoeveelheid zout water waarmee de kolk uit de buitenhaven wordt bijgevuld, groot

$$(-\alpha) Bh_1$$

Dan is dus:

$$\lambda = q_1(1-\eta) - \alpha$$

Hierin substituëren we voor η volgens (14):

$$(15) \quad \lambda = q_1 q_2 \frac{1 - \left(\frac{1-q_1}{q_1} + \frac{1-q_2}{q_2}\right) \alpha + (1-\theta) \frac{(1-q_1)(1-q_2)}{q_1 q_2} \alpha^2 - \beta}{1 - [1+(1-\theta)\alpha] (1-q_1) (1-q_2)}$$

Met in acht nemen van de invloed van de scheepvaart wordt de coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar:

$$(16) \quad \lambda = \mu q_1 q_2 \frac{1 - \left(\frac{1-q_1}{q_1} + \frac{1-q_2}{q_2}\right) \alpha + (1-\theta) \frac{(1-q_1)(1-q_2)}{q_1 q_2} \alpha^2 - \beta}{1 - [1+(1-\theta)\alpha] (1-q_1) (1-q_2)}$$

Deze formules gelden dus voor het schutten met een buitenpeil dat hoger is dan het binnenpeil.

Par. 4 Voorbeeld van het gebruik der formules.

We beschouwen een sluis waarvan de verhoudingen zijn als hieronder is aangegeven. Gedacht is aan de ontworpen binnenvaartsluis te Terneuzen.

hoogwater			
halftij	1		2
laagwater	1		2
	2		2
Buitenhaven		Kolk	Kanaal

Dan is dus:

bij hoogwater: $\alpha = 0$ $\beta_m = 1/2$

bij halftij: $\alpha = 1/3$ $\beta_m = 2/3$

bij laagwater: $\alpha = 1$ $\beta_m = 1$

Verder is:

Inhoud kolk bij hoogwater = $\frac{4}{3}$ Inhoud kolk bij halftij

Inhoud kolk bij laagwater = $\frac{2}{3}$ Inhoud kolk bij halftij.

We gaan de invloed van verschillende factoren, in combinatie met elkaar na. We zien af van de invloed van de scheepvaart. Daar α niet negatief wordt, werken we dus steeds met (12).

De uitwisselingscoëfficiënt.

We beschouwen de invloed van verschillende waarden van de uitwisselingscoëfficiënt op het zoutwater-bezwaar, bij halftij, zoet bijvullen en aflaten, en een onvolledig zak-effect.

$\alpha = \frac{1}{3}$ $\beta = \frac{1}{2} \beta_m = \frac{1}{3}$ $\gamma = \theta = 0$	$\varphi_2 = \frac{5}{9} = 0,56$	$\varphi_2 = \frac{2}{3} = 0,67$	$\varphi_2 = \frac{4}{5} = 0,80$
$\varphi_1 = \frac{5}{9} = 0,56$	$\lambda = \frac{5}{23} = 0,22$	$\lambda = \frac{1}{4} = 0,25$	$\lambda = \frac{2}{7} = 0,29$
$\varphi_1 = \frac{2}{3} = 0,67$	$\lambda = \frac{25}{96} = 0,26$	$\lambda = \frac{10}{33} = 0,30$	$\lambda = \frac{5}{14} = 0,36$ $\lambda = \frac{25}{57} = 0,35$
$\varphi_1 = \frac{4}{5} = 0,80$	$\lambda = \frac{155}{504} = 0,31$	$\lambda = \frac{62}{171} = 0,36$	$\lambda = \frac{124}{291} = 0,43$ $\lambda = 0,42$

We zien hieruit onder andere dat een verandering van de uitwisselingscoëfficiënten weinig invloed heeft, zolang hun product,

$\varphi_1 \varphi_2$

niet verandert. Bij de beschouwde vrij grote variaties van

φ_1 en φ_2 , blijft toch de relatie $\lambda = 0,68 \varphi_1 \varphi_2$
nagenoeg gelden. Vergroting of verkleining van een uitwisselingscoëfficiënt heeft dus een nagenoeg evenredige vergroting of verkleining van het zoutwater-bezwaar ten gevolge.

Bijvullen en aflatens.

We beschouwen verschillende manieren van bijvullen en aflatens, bij halftij en bij dezelfde uitwisselingscoëfficiënten en hetzelfde zak-effect.

$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3}$ $\alpha = \frac{1}{3}$ $\beta = \frac{1}{2}, \beta_m = \frac{1}{3}$	gemengd aflatens $\theta = 0$	zout aflatens $\theta = 1$
zoet bijvullen $\gamma = 0$	$\lambda = \frac{10}{33} = 0,30$	$\lambda = \frac{1}{4} = 0,25$
zout bijvullen $\gamma = 1$	$\lambda = \frac{7}{33} = 0,21$	$\lambda = \frac{1}{6} = 0,17$

We zien hieruit dat het zo zout mogelijk bijvullen van de kolk een groter effect heeft dan een zo zout mogelijk aflatens. Dit is ook plausibel, omdat tegenover zout bijvullen, zoet bijvullen is gesteld, doch tegenover zout aflatens, slechts gemengd aflatens staat.

Het grootst mogelijke effect, dat is dus het effect dat verkregen wordt door zout bijvullen en zout aflatens, vergeleken met zoet bijvullen en gemengd aflatens, bedraagt

Het hierdoor bespaarde puivater is $\left(\frac{10}{33} - \frac{1}{6}\right) Bh_1 = \frac{3}{22} Bh_1$
 $\frac{3}{22} Bh_1 = \frac{9}{22} V_s$,
dat is 41% van het schutwater.

Bijvullen en zak-effect.

We gaan de invloed van het zak-effect van de binnendrempel, in combinatie met zout of zoet bijvullen, na. We veronderstellen gemengd aflatens.

$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3}$ $\alpha = \frac{1}{3}$ $\theta = 0$	geen zak-effect $\beta = 0$	half zak-effect $\beta = \frac{1}{3}$	maximaal zak-effect $\beta = \frac{2}{3}$
zoet bijvullen $\gamma = 0$	$\lambda = \frac{16}{33} = 0,48$	$\lambda = \frac{10}{33} = 0,30$	$\lambda = \frac{4}{33} = 0,12$
zout bijvullen $\gamma = 1$	$\lambda = \frac{13}{33} = 0,39$	$\lambda = \frac{7}{33} = 0,21$	$\lambda = \frac{1}{33} = 0,03$

De grootte van het zak-effect blijkt dus van grote invloed op het zoutwater-bezwaar te zijn.

Getij-fase, zak-effect, en bijvullen.

We gaan de invloed van de getijstand na, in verband met het zak-effect van de binnendrempel, en het zout of zoet bijvullen.

$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3}$ $\theta = 0$ $\beta = \frac{1}{2}\beta_m$	laagwater $\alpha = 1$ $\beta = \frac{1}{2}$	halftij $\alpha = \frac{1}{3}$ $\beta = \frac{1}{3}$	hoogwater $\alpha = 0$ $\beta = \frac{1}{4}$
zoet bijvullen $\gamma = 0$	$\lambda = \frac{3}{17} = 0,18$	$\lambda = \frac{10}{33} = 0,30$	$\lambda = \frac{3}{8} = 0,38$
$\gamma = \frac{1}{2}$	$\lambda = \frac{1}{34} = 0,03$	$\lambda = \frac{17}{66} = 0,26$	$\lambda = \frac{3}{8} = 0,38$
zout bijvullen $\gamma = 1$	$\lambda = -\frac{2}{17} = -0,12$	$\lambda = \frac{7}{33} = 0,21$	$\lambda = \frac{3}{8} = 0,38$

$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3}$ $\theta = 0$ $\gamma = \frac{1}{2}$	laagwater $\alpha = 1$ $\beta_m = 1$	halftij $\alpha = \frac{1}{3}$ $\beta_m = \frac{2}{3}$	hoogwater $\alpha = 0$ $\beta_m = \frac{1}{2}$
geen zak-effect $\beta = 0$	$\lambda = \frac{11}{34} = 0,32$	$\lambda = \frac{29}{66} = 0,44$	$\lambda = \frac{1}{2} = 0,50$
half zak-effect $\beta = \frac{1}{2}\beta_m$	$\lambda = \frac{1}{34} = 0,03$	$\lambda = \frac{17}{66} = 0,26$	$\lambda = \frac{3}{8} = 0,38$
maximaal zak-effect $\beta = \beta_m$	$\lambda = -\frac{9}{34} = -0,26$	$\lambda = \frac{5}{66} = \frac{0,08}{0,09}$	$\lambda = \frac{1}{4} = 0,25$

We zien uit deze twee tabellen allereerst dat het zoutwater-bezwaar bij laagwater negatief kan worden, d.w.z. dat zout uit het kanaal wordt afgevoerd, zowel bij een sterk zak-effect als bij overwegend zout bijvullen. Deze zoutafvoer wordt het uerlijk bereikt ten koste van het vele schutwater, dat bij laagwater nodig is.

De coëfficiënt van het zoutwater-bezwaar is bij hoogwater groter, en bij laagwater kleiner dan bij halftij. Bovendien is bij hoogwater de inhoud van de kolk groter, en bij laagwater kleiner dan bij halftij. Het zoutwater-bezwaar is bij hoogwater dus belangrijk groter dan bij laagwater. Om na te gaan in hoeverre de verhoudingen bij halftij een goede indruk geven van het totale zoutwater-bezwaar van een gehele getij-periode, berekenen we het gemiddelde van het zoutwater-bezwaar van een schut-cyclus bij hoogwater, en een schut-cyclus bij laagwater, en betrekken dit op de inhoud van de kolk bij halftij.

Bij $\beta = \frac{1}{2} \beta_m$ en $\gamma = \frac{1}{2}$ is:

bij hoogwater: $\lambda = \frac{3}{8} = 0,38,$

bij halftij: $\lambda = \frac{17}{66} = 0,26,$

en bij laagwater: $\lambda = \frac{1}{34} = 0,03.$

Het gemiddelde zoutwater-bezwaar van hoog- en laagwater is dan

$$\frac{\frac{3}{8} \frac{4}{3} + \frac{1}{34} \frac{2}{3}}{2} = \frac{53}{204} = 0,26,$$

betrokken op de inhoud van de kolk bij halftij. Dit gemiddelde zoutwater-bezwaar komt nagenoeg overeen met het zoutwater-bezwaar van een schut-cyclus bij halftij, zodat de laatste representatief voor de gehele getij-periode mag worden geacht.

Par. 5 Invloed van een beperkt schut-tij.

Bij hoogwater is het zout-bezwaar per schut-cyclus aanzienlijk groter dan bij halftij. Daar staat tegenover dat geen schutwater gebruikt wordt, zodat men meer water beschikbaar houdt om te spuien, en daarmee het zout-bezwaar te bestrijden. Omgekeerd is bij laagwater het zout-bezwaar per schut-cyclus veel kleiner dan bij halftij, misschien is er bij laagwater zelfs wel zoutafvoer in plaats van zout-bezwaar, maar daar staat tegenover dat meer schutwater gebruikt wordt, en dat dus de beschikbare hoeveelheid spuiwater minder wordt.

Nu rijst de vraag, of men door het instellen van een beperkt schut-tij, hetzij op hoogwater, hetzij op laagwater, een zuiniger water- of zout-huishouding kan krijgen.

Laat

$$\Delta V_1$$

het verschil in zoutwater-bezwaar van een schut-cyclus bij hoogwater, en een bij laagwater zijn. Laat

$$\Delta V_s$$

het meerdere schutwater van de schut-cyclus bij laagwater zijn. Laat verder ξ de zoutwater-fractie zijn waarmee gespuid wordt.

Bij instelling van een op hoogwater beperkt schut-tij, kan dus voor iedere schut-cyclus die eerst bij laagwater plaats vond, en die nu bij hoogwater plaats vindt, een hoeveelheid water

$$\Delta V_s$$

meer voor spuien worden bestemd. Hiermee kan men een zoutwater-bezwaar, groot

$$\xi \Delta V_s$$

bestrijden. Het op hoogwater beperkte schut-tij levert dus voordeel op, wanneer

$$\xi \Delta V_s > \Delta V_1$$

is, doch nadeel, wanneer

$$\xi \Delta V_s < \Delta V_1$$

is.

Bij een op laagwater beperkt schut-tij daarentegen, derft men voor iedere schut-cyclus die eerst bij hoogwater plaats vond, en die nu bij laagwater plaats vindt, een hoeveelheid water, groot

$$\Delta V_s$$

voor het spuien, waarmee men een zoutwater-bezwaar van

$$\xi \Delta V_s$$

zou hebben kunnen bestrijden. Het op laagwater beperkte schut-tij levert dus voordeel op wanneer

$$\Delta V_1 > \xi \Delta V_s$$

is, doch nadeel wanneer

$$\Delta V_1 < \xi \Delta V_s$$

is.

Er is dus een kritische waarde ξ_k voor de zoutwater-fractie van het spuiwater, bepaald door

$$\xi_k = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_s}$$

Ligt ξ hierboven, dan levert een op hoogwater beperkt schut-tij voordeel op, doch ligt ξ onder ξ_k , dan levert een op laagwater beperkt schut-tij voordeel op.

Wij hebben de waarde van ξ_k bij de sluis van de vorige paragraaf bepaald, voor al of niet zak-effect; en voor zout of zoet bijvullen. We hebben daarbij weer

genomen: $q_1 = q_2 = \frac{2}{3}$ en $\theta = 0$

$\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{2}{3} \quad \theta = 0$ $\alpha = 1; \frac{1}{3}; 0$ $\beta_m = 1; \frac{2}{3}; \frac{1}{2}$	geen zak-effect $\beta = 0$	maximaal zak-effect $\beta = \beta_m$
zoet bijvullen $\gamma = 0$	$\zeta_k = \frac{9}{17} = 0,53$	$\zeta_k = \frac{21}{34} = 0,62$
zout bijvullen $\gamma = 1$	$\zeta_k = \frac{14}{17} = 0,82$	$\zeta_k = \frac{31}{34} = 0,91$

Deze kritische waarden liggen tamelijk hoog, en dit betekent, dat bij de beschouwde sluis het instellen van een op hoogwater beperkt schut-tij uit het oogpunt van zoutbestrijding alleen zin zal hebben, wanneer de spuumiddelen water met een zeer hoog zoutgehalte afvoeren. Is dit niet het geval, dan zal het schut-tij niet op hoogwater, maar op laagwater moeten worden beperkt.

Als tweede voorbeeld beschouwen we de kritische waarde van de zoutwater-fractie van het spuiwater bij de sluis die we in par. 2 onder C bespreken. De verhoudingen zijn dan als aangegeven in onderstaande schets. We verwaarlozen het zak-effect, dat hier slechts gering is.

hoogwater		
halftij	1	1
laagwater	1	
	5	
Buitenhaven	Kolk	Kanaal

We hebben dus

bij hoogwater: $\alpha = 0$

bij halftij: $\alpha = \frac{1}{6}$

bij laagwater: $\alpha = \frac{2}{5}$

Ook hebben we:

Inhoud kolk bij hoogwater = $\frac{7}{6}$ Inhoud kolk bij halftij

Inhoud kolk bij laagwater = $\frac{5}{6}$ Inhoud kolk bij halftij

Verder stellen we $\theta = 0$ en $\beta = 0$.

We nemen aan dat voor het bijvullen van de kolk uit het kanaal, en voor het spuien, van dezelfde zoutwater-zak in het kanaal zal worden gebruik gemaakt, zodat het voor de hand ligt de zoutwater-fractie van het bijvullen gelijk te stellen aan die van het spuien:

$$\gamma = \zeta.$$

We krijgen dan:

bij hoogwater: $\lambda = \frac{3}{5}$

bij laagwater: $\lambda = \frac{315 - 46\xi}{535}$

Dus is het verschil in zoutwater-bezwaar

$$\Delta V_1 = \left(\frac{3}{5} \cdot \frac{7}{6} - \frac{315 - 46\xi}{535} \cdot \frac{5}{6} \right) B h_1 = \frac{336 + 115\xi}{1605} B h_1$$

Daarbovenover staat een verschil in schutwater van

$$\Delta V_2 = \frac{1}{3} B h_1$$

en ξ_k volgt dus uit

$$\xi_k = \frac{\frac{336 + 115\xi_k}{1605}}{\frac{1}{3}} = \frac{336 + 115\xi_k}{535}$$

Oplossen hiervan geeft

$$\xi_k = \frac{4}{5} = 0,80$$

Ook hier blijkt dus weer, dat een op hoogwater beperkt schut-tij slechts zin heeft als de spuumiddelen water met een zeer hoog zoutgehalte kunnen afvoeren, en dat anders aan een op laagwater beperkt schut-tij de voorkeur moet worden gegeven.

