

Grondwaterstroming bij dijken.

Berekening potentialen in zandonder-  
grond.

S-79.066

mei 1981

<u>Inhoud</u>		blz.
I.	Inleiding	1
	I.1.  Algemeen	1
	I.2.  Aannamen	1
II.	Resultaten	2
	II.1.  Algemeen	2
	II.1.1.  Uniforme kleilaag vóór (buitendijks) en uniforme kleilaag achter (binnendijks); randvoorwaarde achterland op $\infty$	2
	II.1.2.  Twee onderscheiden kleilagen vóór en uni- forme kleilaag achter; randvoorwaarde achterland op $\infty$	3
	II.1.3.  Uniforme kleilaag vóór en uniforme klei- laag achter met verticale randvoorwaarde ("filter") in achterland op afstand d.	4
	II.1.4.  Twee onderscheiden kleilagen vóór en uni- forme kleilaag achter met verticale rand- voorwaarde ("filter") in achterland op afstand d	5
III.	Afleiding formules	6
	III.1.  Algemeen	6
	III.1.1.  Geval genoemd onder II.1.1.	7
	III.1.2.  Geval genoemd onder II.1.2.	8
	III.1.3.  Geval genoemd onder II.1.3.	9
	III.1.4.  Geval genoemd onder II.1.4.	9

## I. Inleiding

### I.1. Algemeen

Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoek naar de potentiaalverdeling onder kleilagen in achterland en voorland.

Hierbij zijn gevarieerd:

- de uittreelengte  $\lambda$ ;  $\lambda = \sqrt{k_z D c} = \sqrt{k_z D \frac{d}{k_k}}$  waarin

$k_z$  = de doorlatendheidscoëfficiënt van het zand

$D$  = de dikte van de zandlaag.

$d$  = de dikte van de kleilaag.

$k_k$  = de doorlatendheidscoëfficiënt van de klei.

- de breedte van de dijkbasis.
- de breedte van de kleilaag in het voorland.
- de breedte van de kleilaag in het achterland.
- de potentiaal in het achterland.
- de verticale randvoorwaarde in het achterland.
- de verticale randvoorwaarde in het voorland.

Voor de berekening van de grondwaterpotentialen is er een programma opgesteld voor de HP 97 (HP 67).

### I.2. Aannamen

- de dijkbasis is dicht verondersteld zodat de potentiaal lineair verloopt van binnenteen naar buitenteen.
- in de kleilaag is verticale stroming aangenomen.
- in de zandlaag is horizontale stroming aangenomen.
- er is geen uittreeverlies in rekening gebracht.
- de potentiaal in het voorland is dezelfde als de verticale randvoorwaarde in het voorland.

II. Resultaten

II.1. Algemeen

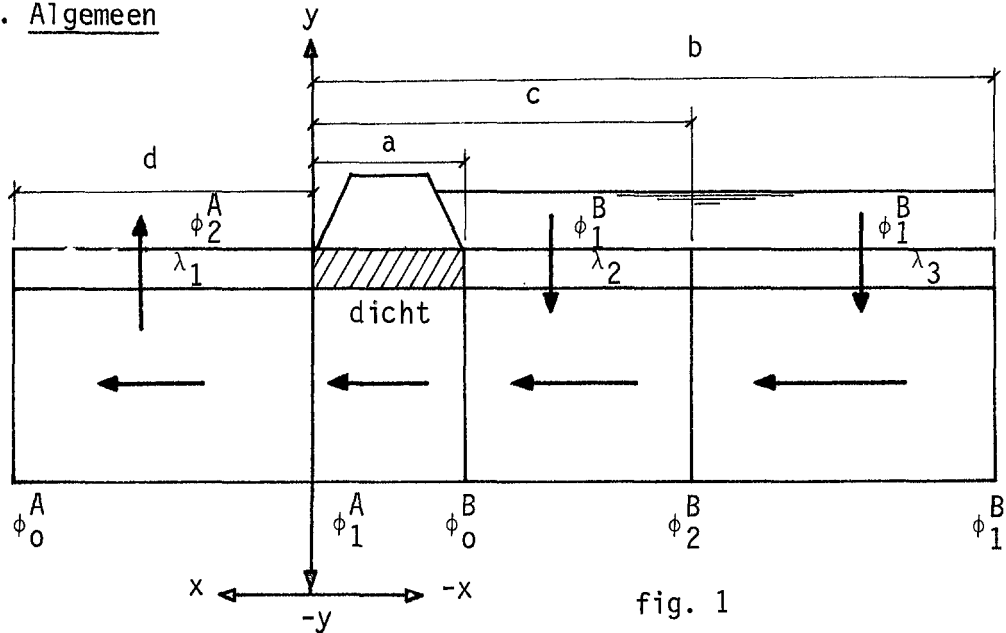


fig. 1

Bekend verondersteld zijn:  $\phi_0^A$ ;  $\phi_2^A$  en  $\phi_1^B$

waarin  $\phi$  staat voor de potentiaal.

II.1.1. Uniforme kleilaag vóór (buitendijks) en uniforme kleilaag achter (binnendijks); randvoorwaarde achterland op  $\infty$ .

aldus:

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_2 = \lambda_3 \\ \phi_2^A = \phi_0^A \\ d \rightarrow \infty \end{array} \right\} \rightarrow$$

Achter:  $\phi(x) = \phi_0^A + (\phi_1^A - \phi_0^A) e^{-x/\lambda_1}$  (7)

Voor :  $\phi(x) = \phi_1^B + (\phi_0^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}(\frac{b+x}{\lambda_2})}{\text{sh}(\frac{b-a}{\lambda_2})} \right\}$  (8)

met  $\phi_1^A = \phi_0^A \left\{ \frac{a}{\lambda_1 + a} \right\} + \phi_0^B \left\{ \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + a} \right\}$

$$\text{en } \phi_0^B = \phi_0^A \left\{ \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1 + a}{\lambda_2} \text{cth} \left( \frac{b-a}{\lambda_2} \right)} \right\} + \phi_1^B \left\{ \frac{1}{\frac{\lambda_2}{\lambda_1 + a} \text{th} \left( \frac{b-a}{\lambda_2} \right) + 1} \right\}$$

II.1.2. Twee onderscheiden kleilagen vóór en uniforme kleilaag achter; randvoorwaarde achterland op  $\infty$ .  
aldus:

$$\left. \begin{array}{l} \phi_2^A = \phi_0^A \\ d \rightarrow \infty \end{array} \right\} \longrightarrow$$

Achter:  $\phi(x) = \phi_0^A + (\phi_1^A - \phi_0^A) e^{-x/\lambda_1}$  (9)

Tussen:  $\phi(x) = \phi_1^B + (\phi_0^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}(\frac{c+x}{\lambda_2})}{\text{sh}(\frac{c-a}{\lambda_2})} \right\} + (\phi_2^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}(\frac{a+x}{\lambda_2})}{\text{sh}(\frac{a-c}{\lambda_2})} \right\}$  (10)

Voor :  $\phi(x) = \phi_1^B + (\phi_2^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}(\frac{b+x}{\lambda_3})}{\text{sh}(\frac{b-c}{\lambda_3})} \right\}$  (11)

met  $\phi_1^A = \phi_0^A \left\{ \frac{a}{\lambda_1 + a} \right\} + \phi_0^B \left\{ \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + a} \right\}$

en  $\phi_0^B = \phi_1^B \left\{ 1 - B - \frac{\lambda_2}{\lambda_3} AC \right\} + \phi_2^B \left\{ B + \frac{\lambda_2}{\lambda_3} AC \right\}$

en  $\phi_2^B = \phi_0^A \left\{ \frac{\lambda_2 \lambda_3 A}{[\lambda_2 A + (\lambda_1 + a) B] [\lambda_2 AC + \lambda_3 B] - [\lambda_3 (\lambda_1 + a)]} \right\} +$

$$\phi_1^B \left\{ \frac{[\lambda_2 \lambda_3 A] [B-1] + [\lambda_2 AC] [\lambda_2 A + (\lambda_1 + a) B] - [\lambda_3 (\lambda_1 + a)] [1-B^2]}{\lambda_2 \lambda_3 AB + [\lambda_2 AC] [\lambda_2 A + (\lambda_1 + a) B] - [\lambda_3 (\lambda_1 + a)] [1-B^2]} \right\}$$

waarin  $A = \text{sh}\left(\frac{c-a}{\lambda_2}\right)$ ;  $B = \text{ch}\left(\frac{c-a}{\lambda_2}\right)$  en  $C = \text{cth}\left(\frac{b-c}{\lambda_3}\right)$

II.1.3. Uniforme kleilaag vóór en uniforme kleilaag achter met verticale randvoorwaarde ("filter") in achterland op afstand d.

aldus:  $\lambda_2 = \lambda_3$

$$\text{Achter: } \phi(x) = \phi_2^A + (\phi_2^A - \phi_1^A) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{x-d}{\lambda_1}\right)}{\text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)} \right\} + (\phi_0^A - \phi_2^A) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{x}{\lambda_1}\right)}{\text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)} \right\} \quad (12)$$

$$\text{Voor : } \phi(x) = \phi_1^B + (\phi_0^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{b+x}{\lambda_2}\right)}{\text{sh}\left(\frac{b-a}{\lambda_2}\right)} \right\} \quad (13)$$

$$\text{met } \phi_1^A = \phi_1^B \left\{ -\frac{a F}{\lambda_2} \right\} + \phi_0^B \left\{ \frac{a F}{\lambda_2} + 1 \right\}$$

$$\text{en } \phi_0^B = \frac{\phi_2^A \{ \lambda_2(E-1) \} + \phi_0^A \{ \lambda_2 \} + \phi_1^B \{ \lambda_1 DF + a EF \}}{\lambda_2 E + \lambda_1 DF + a EF}$$

waarin  $D = \text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)$ ;  $E = \text{ch}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)$  en  $F = \text{cth}\left(\frac{b-a}{\lambda_2}\right)$

II.1.4. Twee onderscheiden kleilagen vóór en uniforme kleilaag achter met verticale randvoorwaarde ("filter") in achterland op afstand d.

$$\text{Achter: } \phi(x) = \phi_2^A + (\phi_2^A - \phi_1^A) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{x-d}{\lambda_1}\right)}{\text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)} \right\} + (\phi_0^A - \phi_2^A) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{x}{\lambda_1}\right)}{\text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)} \right\} \quad (14)$$

$$\text{Tussen: } \phi(x) = \phi_1^B + (\phi_0^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{c+x}{\lambda_2}\right)}{\text{sh}\left(\frac{c-a}{\lambda_2}\right)} \right\} + (\phi_2^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{a+x}{\lambda_2}\right)}{\text{sh}\left(\frac{a-c}{\lambda_2}\right)} \right\} \quad (15)$$

$$\text{Voor : } \phi(x) = \phi_1^B + (\phi_2^B - \phi_1^B) \left\{ \frac{\text{sh}\left(\frac{b+x}{\lambda_3}\right)}{\text{sh}\left(\frac{b-c}{\lambda_3}\right)} \right\} \quad (16)$$

$$\text{met } \phi_1^A = \frac{\phi_0^B \{ \lambda_1 D \} + \phi_0^A \{ a \} + \phi_2^A \{ (a)(E-1) \}}{\lambda_1 D + a E}$$

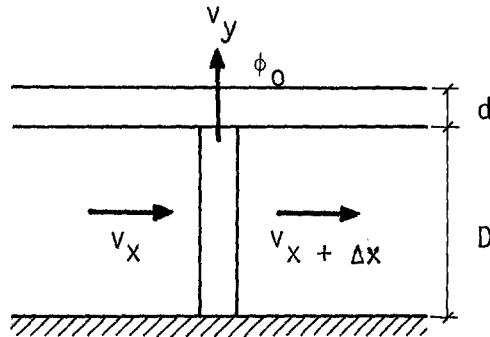
$$\text{en } \phi_0^B = \frac{\phi_0^A \left\{ \frac{\lambda_2}{\lambda_1 D + a E} \right\} + \phi_2^A \left\{ \frac{\lambda_2 (E-1)}{\lambda_1 D + a E} \right\} + \phi_1^B \left\{ \frac{B}{A} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2 A^2 C + \lambda_3 AB} \right\}}{\frac{\lambda_2 E}{\lambda_1 D + a E} + \frac{B}{A} - \frac{\lambda_3}{\lambda_2 A^2 C + \lambda_3 AB}}$$

$$\text{en } \phi_2^B = \frac{\phi_0^B + \phi_1^B \left\{ B-1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_3} AC \right\}}{\frac{\lambda_2}{\lambda_3} AC + B}$$

waarin  $A = \text{sh}\left(\frac{c-a}{\lambda_2}\right)$  ;  $B = \text{ch}\left(\frac{c-a}{\lambda_2}\right)$  ;  $C = \text{cth}\left(\frac{b-c}{\lambda_3}\right)$  ;  $D = \text{sh}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)$  en  $E = \text{ch}\left(\frac{d}{\lambda_1}\right)$

III. Afleiding formules

III.1. Algemeen



$d$  = dikte kleilaag

$D$  = dikte zandlaag

$$v_x \cdot D = v_y \cdot \Delta x + v_{x + \Delta x} \cdot D \quad (1)$$

$$v_x = -k \cdot \frac{d\phi}{dx} \quad (2)$$

$$(1): v_x \cdot D - v_{x + \Delta x} \cdot D = v_y \cdot \Delta x$$

$$v_x - v_{x + \Delta x} = \frac{v_y \cdot \Delta x}{D}$$

$$\frac{v_x - v_{x + \Delta x}}{\Delta x} = \frac{v_y}{D}$$

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left\{ \frac{v_x - v_{x + \Delta x}}{\Delta x} \right\} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left\{ \frac{v_y}{D} \right\}$$

$$-v'(x) = \frac{v_y}{D} \quad (3)$$

$$(2): v_x = -k_z \frac{d\phi}{dx}$$

$$v'_x = -k_z \cdot \frac{d^2\phi}{dx^2} \quad (4)$$

$$\text{bekend is: } v_y = \frac{(\phi - \phi_0)}{d} \cdot k_k \quad (5)$$



(4) en (5) in (3):

$$k_z \frac{d^2 \phi}{dx^2} = \frac{(\phi - \phi_0) k_k}{d \cdot D}$$

$$\left\{ k_z \cdot D \cdot \frac{d}{k_k} \right\} \frac{d^2 \phi}{dx^2} = \phi - \phi_0$$

$$\lambda = \sqrt{k_z \cdot D \cdot \frac{d}{k_k}} \quad \longrightarrow \quad \lambda^2 \frac{d^2 \phi}{dx^2} - \phi + \phi_0 = 0$$

De algemene oplossing van deze differentiaalvergelijking is

$$\phi = c_1 e^{x/\lambda} + c_2 e^{-x/\lambda} + \phi_0 \quad (6)$$

De constanten  $c_1$  en  $c_2$  volgen uit de randvoorwaarden.

Op korte wijze wordt nu voor de gevallen genoemd onder II.1. de oplossingsmethode aangegeven.

III.1.1. Geval genoemd onder II.1.1.

Zie figuur 1. blz. 2.

Achter

$$x \rightarrow \infty : \phi(x) = \phi_0^A$$

$$x \rightarrow 0 : \phi(x) = \phi_1^A$$

Dit gesubstitueerd in (6) levert vergelijking (7) van  $\phi(x)$  met  $\phi_1^A$  als onbekende.

Voor

$$x \rightarrow -b : \phi(x) = \phi_1^B$$

$$x \rightarrow -a : \phi(x) = \phi_0^B$$

Dit in (6) levert vergelijking (8) met  $\phi_0^B$  als onbekende.

Eis dat:

1<sup>e</sup>  $\phi'(0) = \phi'(-a)$ : zodat  $\phi(x)$  onder dijkbasis lineair verloopt.

2<sup>e</sup>  $\phi_1^A = \phi_0^B + a \cdot \phi'(x_0)$ : zodat  $\phi(x)$  lineair onder dijkbasis.

M.b.v. deze 2 eisen en m.b.v. (7) en (8) volgen  $\phi_0^B$  en  $\phi_1^A$ .

Voor de oplossing zie II.1.1.

III.1.2. Geval genoemd onder II.1.2.

Zie figuur 1. blz. 2.

Achter

$$\left. \begin{array}{l} x \rightarrow \infty : \phi(x) = \phi_0^A \\ x \rightarrow 0 : \phi(x) = \phi_1^A \end{array} \right\} \text{in (6) levert (9)}$$

Tussen

$$\left. \begin{array}{l} x \rightarrow -c : \phi(x) = \phi_2^B \\ x \rightarrow -a : \phi(x) = \phi_0^B \end{array} \right\} \text{in (6) levert (10)}$$

Voor

$$\left. \begin{array}{l} x \rightarrow -b : \phi(x) = \phi_1^B \\ x \rightarrow -c : \phi(x) = \phi_2^B \end{array} \right\} \text{in (6) levert (11)}$$

Eis dat:

1<sup>e</sup>  $\phi'(0) = \phi'(-a)$

2<sup>e</sup>  $\phi_1^A = \phi_0^B + \phi'(x_0) \cdot a$

3<sup>e</sup>  $\lim_{x \uparrow -c} \phi'(x) = \lim_{x \downarrow -c} \phi'(x)$

M.b.v. deze 3 eisen en m.b.v. (9), (10) en (11) zijn  $\phi_1^A$ ,  $\phi_0^B$  en  $\phi_2^B$

op te lossen.

Voor oplossing zie II.1.2.

III.1.3. Geval genoemd onder II.1.3.  
Zie figuur 1. blz. 2.

Achter

$$x \rightarrow d : \phi(x) = \phi_0^A$$

$$x \rightarrow o : \phi(x) = \phi_1^A$$

in (6) levert (12)

Voor

$$x \rightarrow -a : \phi(x) = \phi_0^B$$

$$x \rightarrow -b : \phi(x) = \phi_1^B$$

in (6) levert (13)

Eis dat:

$$1^e \quad \phi'(o) = \phi'(-a)$$

$$2^e \quad \phi_1^A = \phi_0^B + a \cdot \phi'(x_0)$$

M.b.v. deze 2 eisen en (12) en (13) volgen  $\phi_2^A$  en  $\phi_0^B$   
Zie II.1.3. voor de oplossing.

III.1.4. Geval genoemd onder II.1.4.  
Zie figuur 1. blz. 2.

Achter

$$x \rightarrow d : \phi(x) = \phi_0^A$$

$$x \rightarrow o : \phi(x) = \phi_1^A$$

in (6) levert (14)

Tussen

$$x \rightarrow -a : \phi(x) = \phi_0^B$$

$$x \rightarrow -c : \phi(x) = \phi_2^B$$

in (6) levert (15)

Voor

$$x \rightarrow -c : \phi(x) = \phi_2^B$$

$$x \rightarrow -b : \phi(x) = \phi_1^B$$

in (6) levert (16)

Eis dat:

$$1^e \quad \phi^i(0) = \phi^i(-a)$$

$$2^e \quad \phi_1^A = \phi_0^B + a \cdot \phi'(x_0)$$

$$3^e \quad \lim_{x \uparrow -c} \phi'(x) = \lim_{x \downarrow -c} \phi'(x)$$

Uit deze 3 eisen te zamen met (14), (15) en (16) volgen

$$\phi_0^B, \phi_2^B \text{ en } \phi_1^A$$

Zie II.1.4. voor de oplossing.

# User Instructions

Grondwaterstroming; Potentialen in zandondergrond.  
 Geval II.1.2.  $\rightarrow \phi_2^B, \phi_0^B, \phi_1^A$

1  $x \rightarrow \phi(x)$   $x \rightarrow \phi(x)$   $x \rightarrow \phi(x)$  2

STEP	INSTRUCTIONS	INPUT DATA/UNITS	KEYS		OUTPUT DATA/UNITS
1	Lees kant 1 en 2 in		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
2	Voer de volgende gegevens in:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	breedte dijkbasis	a	STO	A	a
	breedte dijkbasis + tussenland + voorland	b	STO	B	b
	breedte dijkbasis + tussenland	c	STO	C	c
	uittreelengte kleilaag achterland	$\lambda_1$	STO	8	$\lambda_1$
	uittreelengte kleilaag tussenland	$\lambda_2$	STO	9	$\lambda_2$
	uittreelengte kleilaag voorland	$\lambda_3$	STO	E	$\lambda_3$
	verticale randvoorwaarde achterland	$\phi_0^A$	STO	S <sub>1</sub>	$\phi_0^A$
	potentiaal achterland	$\phi_2^A$	STO	S <sub>2</sub>	$\phi_2^A$
	verticale randvoorwaarde voorland	$\phi_1^B$	STO	S <sub>3</sub>	$\phi_1^B$
	constante	$sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$	STO	0	$sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	constante	$ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$	STO	1	$ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	constante	$cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$	STO	2	$cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	constante	$sh(\frac{b-c}{\lambda_3})$	STO	7	$sh(\frac{b-c}{\lambda_3})$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
3	Bepaling en uitvoer van potentiaal ter plaatse van overgang naar andere kleilaag.		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
			fB		$\phi_2^B, \phi_0^B, \phi_1^A$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
4	Bepaling en uitvoer van potentiaal ter plaatse van x naar keuze.		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	Drie mogelijkheden:		<input type="text"/>	<input type="text"/>	
	achterland $\{x   0 \leq x \leq \infty\}$	x	A		$\phi(x)$
	tussenland $\{x   -c \leq x \leq -a\}$	x	C		$\phi(x)$
	voorland $\{x   -b \leq x \leq -c\}$	x	D		$\phi(x)$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
5	Controle mogelijkheden:	o	A		$\phi_1^A$
		$x \rightarrow \infty$	A		$\phi(x) \rightarrow \phi_0^A$
		-a	C		$\phi_0^B$
		-c	C of D		$\phi_2^B$
		-b	D		$\phi_1^B$
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	
			<input type="text"/>	<input type="text"/>	

# Program Listing

STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS
001	* LBL b		Berekening van $\phi_2^B, \phi_0^B$ en $\phi_1^A$		PRINT				RCL 1				* LBL 1		Aangeropen vanuit
	GSB 2				P $\geq$ S				+			170	RCL I		LBL C dan $sh(\frac{x+c}{\lambda_2})$
	GSB 4			060	GSB 4				PRINT				+		
	x				RCL E				P $\geq$ S				RCL 7		resp. $sh(\frac{x+a}{\lambda_2})$ ; aange-
	1				:				RTN				:		
	RCL 1				RCL 1			*	LBL C		Berekening van		e <sup>x</sup>		roepen vanuit LBL D
	x <sup>2</sup>				+		$\beta_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_2^B \text{ in } \phi_0^B$		STO I		$\phi(x) \text{ in tussenland}$		↑		
	-				P $\geq$ S			120	RCL 9				1/x		dan $sh(\frac{x+b}{\lambda_3})$
	GSB 3				STO 8				P $\geq$ S				-		
010	x				chs				STO 7				2		
	-				1				RCL C				:		
	RCL 9				+				GSB 1			180	RTN		Berekening van
	RCL E				RCL 3		$\alpha_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_1^B \text{ in } \phi_0^B$		P $\geq$ S			*	LBL 2		$\lambda_2 A + (\lambda_1 + a) B$
	x			070	x				RCL 0				RCL 8		met $A = sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$
	RCL 0				RCL 8				P $\geq$ S				+		
	RCL 1				RCL 6				:				RCL 1		en $B = ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$
	x				x		$\phi_0^B$		RCL 4				x		
	x				+			130	RCL 3				RCL 0		
	+				STO 4				-				RCL 9		
020	RCL 9				PRINT				x				x		
	:				P $\geq$ S				RCL A			190	+		
	RCL E				RCL 8				GSB 1				RTN		Berekening van
	:				↑				P $\geq$ S			*	LBL 3		$\lambda_3(\lambda_1 + a)$
	RCL 0			080	↑				RCL 0				RCL 8		
	1/x				RCL A				:				RCL A		
	chs				+				RCL 3				+		
	1				P $\geq$ S		$\beta_1 = \text{coëfficiënt van } \phi_0^B \text{ in } \phi_1^A$	140	RCL 6				RCL E		
	+		$\beta_3 = \text{coëfficiënt van } \phi_1^B \text{ in } \phi_2^B$		STO 8				-				x		
030	P $\geq$ S				P $\geq$ S				x				RTN		Berekening van
	STO 8				RCL 8				+			*	LBL 4		$\lambda_2 AC$ met
	P $\geq$ S				:				RCL 3				RCL 0		$A = sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$ en
	RCL E				RCL A				+				RCL 2		
	RCL 1			090	x		$\alpha_1 = \text{coëfficiënt van } \phi_0^A \text{ in } \phi_1^A$		PRINT				x		
	x				P $\geq$ S				P $\geq$ S				RCL 9		
	GSB 4				RCL 1				RTN				x		
	+				x		$\phi_1^A$	*	LBL D		Berekening van		RTN		$C = cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$
	GSB 2				RCL 8			150	STO I		$\phi(x) \text{ in voorland}$				
	x				RCL 4				RCL E						
040	GSB 3				x				P $\geq$ S						
	-				+				STO 7						
	RCL 9				STO 5				RCL B			210			
	:				PRINT				GSB 1						
	RCL E			100	P $\geq$ S				P $\geq$ S						
	:				RTN				RCL 7						
	RCL 0				* LBL A		Berekening van $\phi(x) \text{ in achterland}$		P $\geq$ S						
	1/x		$\alpha_3 = \text{coëfficiënt van } \phi_0^A \text{ in } \phi_2^B$		STO I				:						
	P $\geq$ S				RCL 8			160	RCL 6						
050	RCL 1				:				RCL 3						
	x		$\phi_2^B$		chs				-						
	RCL 8				e <sup>x</sup>				x						
	RCL 3				P $\geq$ S				RCL 3			220			
	x			110	RCL 5				+						
	+				RCL 1				PRINT						
	STO 6				-				P $\geq$ S						
					x				RTN						

REGISTERS									LABELS				FLAGS		SET STATUS		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	D	E	0	SET STATUS		
$sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$	$ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$	$cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$					$sh(\frac{b-c}{\lambda_3})$	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$x \rightarrow \phi(x)$		$x \rightarrow \phi(x)$	$x \rightarrow \phi(x)$		0	ON	OFF
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	a	b	c	d	e	1	DEG	TRIG
	$\phi_0^A$	$\phi_2^A$	$\phi_1^B$	$\phi_0^B$	$\phi_1^A$	$\phi_2^B$	$\lambda_2, \lambda_3$	$\beta_3, \beta_2, \beta_1$		0	$sh(\frac{x+a}{\lambda_2})$	$2\lambda_2 A + (\lambda_1 + a) B$	$\lambda_3(\lambda_1 + a)$	$\lambda_2 AC$	2	GRAD	DISP
A	a	B	b	C	c	D	$\lambda_3$	I	x	5	6	7	8	9	3	RAD	ENG
																n_4	

# Program Description

**Program Title** .....

**Name** .....

**Date** .....

**Address** .....

**City** .....

**State** .....

**Zip Code** .....

**Program Description, Equations, Variables, etc.**

**Operating Limits and Warnings**

**DO NOT USE THIS SPACE**





# Program Listing

STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS
001 *	LBL a		Berekening van $\phi_0^B$ en $\phi_1^A$		P $\geq$ S										
	RCL 5				RTN							170			
	RCL 8			* LBL A			Berekening van $\phi(x)$ in achterland								
	RCL A			060 STO I											
	+			RCL 8											
	x			:											
	RCL 9			chs											
	:			e <sup>x</sup>				120							
	1			P $\geq$ S											
010	+		$\alpha_2$ =coëfficiënt van $\phi_0^A$ in $\phi_0^B$	RCL 5											
	1/x			RCL 1								180			
	P $\geq$ S			-											
	STO 7			x											
	P $\geq$ S			070 RCL 1											
	RCL 9			+											
	RCL 8			PRINT											
	RCL A			P $\geq$ S											
	+			RTN											
	:			* LBL B			Berekening van $\phi(x)$ in voorland								
020	RCL 5			STO I											
	:			RCL 9											
	1			P $\geq$ S								190			
	+			STO 7											
	1/x		$\beta_2$ =coëfficiënt van $\phi_1^B$ in $\phi_0^B$	080 RCL B											
	P $\geq$ S			GSB 1											
	RCL 3			P $\geq$ S											
	x			RCL 6											
	RCL 7			P $\geq$ S				140							
	RCL 1			:											
030	x		$\phi_0^B$	RCL 4											
	+			RCL 3											
	STO 4			-								200			
	PRINT			x											
	P $\geq$ S			090 RCL 3											
	RCL 8			+											
	↑			PRINT											
	↑			P $\geq$ S											
	RCL A			RTN											
	+			* LBL 1			Berekening van $sh(\frac{x+b}{\lambda_2})$								
040	P $\geq$ S		$\beta_1$ = coëfficiënt van $\phi_0^B$ in $\phi_1^A$	RCL I											
	STO 8			+											
	P $\geq$ S			RCL 7								210			
	RCL 8			:											
	:			100 e <sup>x</sup>											
	RCL A			↑											
	x		$\alpha_1$ = coëfficiënt van $\phi_0^A$ in $\phi_1^A$	1/x											
	P $\geq$ S			-											
	RCL 1			2											
050	x		$\phi_1^A$	:											
	RCL 8			RTN											
	RCL 4														
	x														
	+			110								220			
	STO 5														
	PRINT														

REGISTERS									LABELS					FLAGS			SET STATUS				
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	0	ON OFF		SET STATUS			
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	$x \rightarrow \phi(x)$	$x \rightarrow \phi(x)$	c	d	e	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DEG	<input checked="" type="checkbox"/>	FIX	<input checked="" type="checkbox"/>
A	a	b	C	D	E	I	X			$a \phi_0^B, \phi_1^A$	b				2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GRAD	<input type="checkbox"/>	SCI	<input type="checkbox"/>
										0	1	2	3	4	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	RAD	<input type="checkbox"/>	ENG	<input type="checkbox"/>
										5	6	7	8	9		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			n	4





# Program Listing

STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS
001 *	LBL C		Berekening van $\phi_0^B$ en $\phi_1^A$		STO 7			*	LBL 5		Berekening van $\lambda_1 DF + a EF$ met $D = \text{sh}(d/\lambda_1)$ ; $E = \text{ch}(d/\lambda_1)$ en $F = \text{cth}(b-a/\lambda_2)$				
	GSB 5				RCL B				RCL 8			170			
	P $\geq$ S				GSB 1				RCL 3						
	STO 9		$\gamma_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_1^B \text{ in } \phi_0^B$	060	P $\geq$ S				x						
	P $\geq$ S				RCL 6				RCL A						
	RCL 9				P $\geq$ S				RCL 4						
	P $\geq$ S				.				x						
	STO 8		$\beta_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_2^A \text{ in } \phi_0^B$		RCL 4			120	+						
	P $\geq$ S				RCL 3				RCL 5						
010	RCL 4				-				x						
	1				x				RTN						
	-				RCL 3			*	LBL 6		Berekening van $aF/\lambda_2$ met $F = \text{cth}(b-a/\lambda_2)$	180			
	RCL 9				+				RCL A						
	x			070	PRINT				RCL 5						
	P $\geq$ S				P $\geq$ S				x						
	STO 7		$\alpha_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_2^A \text{ in } \phi_0^B$		RTN				RCL 9						
	P $\geq$ S			*	LBL E		Berekening van $\phi(x)$ in achterland		.						
	RCL 4				STO I			130	RTN						
	RCL 9				RCL 8										
020	x				P $\geq$ S										
	GSB 5				STO 7										
	+				RCL D										
	P $\geq$ S				chs										
	STO 0		$\delta_2 = \text{coëfficiënt van } \phi_0^B$	080	GSB 1										
	RCL 2				RCL 2										
	RCL 7				RCL 5										
	x				-										
	RCL 1				x										
	RCL 8				0			140							
030	x				GSB 1										
	+				RCL 1										
	RCL 3				RCL 2										
	RCL 9				-										
	x			090	x										
	+				+										
	RCL 0				P $\geq$ S										
	.				RCL 3										
	STO 4		$\phi_0^B$		P $\geq$ S										
	PRINT				:										
040	P $\geq$ S				RCL 2										
	GSB 6				+										
	P $\geq$ S				PRINT										
	RCL 4				P $\geq$ S										
	RCL 3			100	RTN										
	-			*	LBL 1		Aangeropen vanuit LBL B dan $\text{sh}(x+b/\lambda_2)$ aangeropen vanuit LBL E dan $\text{sh}(x-d/\lambda_1)$ resp. $\text{sh}(x/\lambda_1)$ .								
	x				RCL I										
	RCL 4				+										
	+				RCL 7										
	STO 5		$\phi_1^A$		:										
050	PRINT				$e^x$										
	P $\geq$ S				↑										
	RTN				1/x										
*	LBL B		Berekening van $\phi(x)$ in voorland		-										
	STO I			110	2										
	RCL 9				:										
	P $\geq$ S				RTN										

REGISTERS										LABELS					FLAGS		SET STATUS		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	0	1	TRIG		DISP
			$\text{sh}(d/\lambda_1)$	$\text{ch}(d/\lambda_1)$	$\text{cth}(b-a/\lambda_2)$	$\text{sh}(b-a/\lambda_2)$		$\lambda_1$	$\lambda_2$		$x \rightarrow \phi(x)$			$x \rightarrow \phi(x)$			DEG	TRIG	FIX
S0 $\delta_2$	S1 $\phi_0^A$	S2 $\phi_2^A$	S3 $\phi_1^B$	S4 $\phi_0^B$	S5 $\phi_1^A$	S6	S7 $\alpha_2, \lambda_2, \lambda_1$	S8 $\beta_2$	S9 $\gamma_2$	a	b	c $\phi_0^B, \phi_1^A$	d	e	0	1	GRAD	TRIG	SCI
A	a	B	b	C	D	d	E	I	x		$\text{sh}(x+./\lambda)$	2	3	4	2	3	RAD	TRIG	ENG
										5 $\lambda_1 DF + a EF$	6 $aF/\lambda_2$	7	8	9	3				n. 4



# User Instructions

Grondwaterstroming; Potentialen in zandondergrond.  
Geval II.1.4.

← 1 → 2

$x \rightarrow \phi(x)$        $\rightarrow \phi_0^B, \phi_1^A, \phi_2^B$        $x \rightarrow \phi(x)$        $x \rightarrow \phi(x)$

STEP	INSTRUCTIONS	INPUT DATA/UNITS	KEYS	OUTPUT DATA/UNITS
1	Lees kant 1 en 2 in		<input type="text"/> <input type="text"/>	
2	Voer de volgende gegevens in		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	breedte dijkbasis	a	STO A	a
	breedte dijkbasis + tussenland + voorland	b	STO B	b
	breedte dijkbasis + tussenland	c	STO C	c
	breedte achterland	d	STO D	d
	uittreelengte kleilaag achterland	$\lambda_1$	STO 8	$\lambda_1$
	uittreelengte kleilaag tussenland	$\lambda_2$	STO 9	$\lambda_2$
	uittreelengte kleilaag voorland	$\lambda_3$	STO E	$\lambda_3$
	verticale randvoorwaarde achterland	$\phi_0^A$	STO S <sub>1</sub>	$\phi_0^A$
	potentiaal achterland	$\phi_2^A$	STO S <sub>2</sub>	$\phi_2^A$
	verticale randvoorwaarde voorland	$\phi_1^B$	STO S <sub>3</sub>	$\phi_1^B$
	constante	$sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$	STO 0	$sh(\frac{c-a}{\lambda_2})$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
	constante	$ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$	STO 1	$ch(\frac{c-a}{\lambda_2})$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
	constante	$cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$	STO 2	$cth(\frac{b-c}{\lambda_3})$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
	constante	$sh(d/\lambda_1)$	STO 3	$sh(d/\lambda_1)$
	constante	$ch(d/\lambda_1)$	STO 4	$ch(d/\lambda_1)$
	constante	$sh(b-c/\lambda_3)$	STO 7	$sh(b-c/\lambda_3)$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
3	Bepaling en uitvoer van potentiaal ter plaatse van overgang naar andere kleilaag.		<input type="text"/> <input type="text"/>	
			fD <input type="text"/>	$\phi_0^B, \phi_1^A, \phi_2^B$
			<input type="text"/> <input type="text"/>	
4	Bepaling en uitvoer van potentiaal ter plaatse van x naar keuze.		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	Drie mogelijkheden:		<input type="text"/> <input type="text"/>	
	achterland { x   0 ≤ x ≤ d }	x	E <input type="text"/>	$\phi(x)$
	tussenland { x   -c ≤ x ≤ -a }	x	C <input type="text"/>	$\phi(x)$
	voorland { x   -b ≤ x ≤ -c }	x	D <input type="text"/>	$\phi(x)$
5	Controle mogelijkheden:	0	E <input type="text"/>	$\phi_1^A$
		d	E <input type="text"/>	$\phi_0^A$
		-a	C <input type="text"/>	$\phi_0^B$
		-c	CofD <input type="text"/>	$\phi_2^B$
		-b	D <input type="text"/>	$\phi_1^B$

# Program Listing

STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS	STEP	KEY ENTRY	KEY CODE	COMMENTS
001 *	LBL d		Berekening van $\phi_0^B, \phi_1^A$ en $\phi_2^B$		P $\geq$ S				-				+		
	RCL 1				RCL 4				x			170	P $\geq$ S		
	GSB 7				1				RCL A				RCL 3		
	1/x			060	-				GSB 1				P $\geq$ S		
	-				x		$\gamma_1$ =coëfficiënt van $\phi_2^A$ in $\phi_1^A$		P $\geq$ S				:		
	RCL 0				P $\geq$ S				RCL 0				RCL 2		
	:				STO 9				P $\geq$ S				+		
	P $\geq$ S				P $\geq$ S			120	:				PRINT		
	STO 9		$\gamma_2$ =coëfficiënt van $\phi_1^B$ in $\phi_0^B$		GSB 8		$\delta_1$ =coëfficiënt van $\phi_1^A$		RCL 3				P $\geq$ S		
010	P $\geq$ S				P $\geq$ S				RCL 6				RTN		
	RCL 9				STO 0				-			*	LBL 1		Aangeroeven vanuit LBL C dan sh(c+x/ $\lambda_2$ ) resp. sh(a+x/ $\lambda_2$ ); aangeroeven vanuit LBL D dan sh(b+x/ $\lambda_3$ ); aangeroeven vanuit LBL E dan sh(x-d/ $\lambda_1$ ) resp. sh(d/ $\lambda_1$ )
	RCL 4				RCL 7				x			180	RCL I		
	1				RCL 4				+				+		
	-			070	x				RCL 3				RCL 7		
	x				RCL 8				+				:		
	GSB 8				RCL 1				PRINT				e <sup>x</sup>		
	:				x				P $\geq$ S				↑		
	P $\geq$ S				+				RTN				1/x		
	STO 8		$\beta_2$ =coëfficiënt van $\phi_2^A$ in $\phi_0^B$		RCL 9			130	*	LBL D	Berekening van $\phi(x)$ in voorland		-		
020	P $\geq$ S				RCL 2				STO I				2		
	RCL 4				x				RCL E				:		
	1				+				P $\geq$ S			190	RTN		
	-				RCL 0		$\phi_1^A$		STO 7			*	LBL 7		Berekening van $\lambda_2/\lambda_3$ AC + B met A=sh(c-a/ $\lambda_2$ ); C=cth(b-c/ $\lambda_3$ ) en B=ch(c-a/ $\lambda_2$ )
	:			080	:				RCL B				RCL 0		
	P $\geq$ S				STO 5				GSB 1				RCL 2		
	STO 7		$\alpha_2$ =coëfficiënt van $\phi_0^A$ in $\phi_0^B$		PRINT				P $\geq$ S				x		
	P $\geq$ S				P $\geq$ S				RCL 7				RCL 9		
	RCL 4				GSB 7		$\delta_3$ =coëfficiënt van $\phi_2^B$	140	P $\geq$ S				x		
	x				P $\geq$ S				:				RCL E		
030	P $\geq$ S				STO 0				RCL 6				:		
	RCL 9				1				RCL 3				RCL 1		
	+				-		$\beta_3$ =coëfficiënt van $\phi_1^B$ in $\phi_2^B$		-			200	+		
	STO 0		$\delta_2$ =coëfficiënt van $\phi_0^B$	090	STO 8				x			*	RTN		
	RCL 1				RCL 3				RCL 3				* LBL 8		Berekening van $\lambda_1 D + aE$ met D=sh(d/ $\lambda_1$ ) en E=ch(d/ $\lambda_1$ )
	RCL 7				x				+				RCL 8		
	x				RCL 4				PRINT				RCL 3		
	RCL 2				+				P $\geq$ S				x		
	RCL 8				RCL 0		$\phi_2^B$	150	RTN				RCL A		
	x				:			*	LBL E		Berekening van $\phi(x)$ in achterland		RCL 4		
040	+				STO 6				STO I				x		
	RCL 3				PRINT				RCL 8				+		
	RCL 9				P $\geq$ S				P $\geq$ S			210	RTN		
	x				RTN				STO 7						
	+			100 *	LBL C		Berekening van $\phi(x)$ in tussenland		RCL D						
	RCL 0				STO I				chs						
	:				RCL 9				GSB 1						
	STO 4		$\phi_0^B$		P $\geq$ S				RCL 2						
	PRINT				STO 7			160	RCL 5						
	P $\geq$ S				RCL C				-						
050	RCL 8				GSB 1				x						
	RCL 3				P $\geq$ S				0						
	x				RCL 0				GSB 1						
	P $\geq$ S		$\alpha_1$ =coëfficiënt van $\phi_0^B$ in $\phi_1^A$		P $\geq$ S				RCL 1						
	STO 7			110	:				RCL 2			220			
	RCL A		$\beta_1$ =coëfficiënt van $\phi_0^A$ in $\phi_1^A$		RCL 4				-						
	STO 8				RCL 3				x						

REGISTERS					LABELS					FLAGS			SET STATUS			
0	1	2	3	4	A	B	C	D	E	0	1	2	3	DISP	TRIG	DISP
sh(c-a/ $\lambda_2$ )	ch(c-a/ $\lambda_2$ )	cth(b-c/ $\lambda_3$ )	sh(d/ $\lambda_1$ )	ch(d/ $\lambda_1$ )			x $\rightarrow\phi(x)$	x $\rightarrow\phi(x)$	x $\rightarrow\phi(x)$	ON	OFF					
S0 $\delta_2, \delta_1, \delta_3$	S1 $\phi_0^A$	S2 $\phi_2^A$	S3 $\phi_1^B$	S4 $\phi_0^B$	S5 $\phi_1^A$	S6 $\phi_2^B$	S7 $\alpha_2, \alpha_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_1$	S8 $\beta_2, \beta_1, \beta_3$	S9 $\gamma_2, \gamma_1$	0	1	2	3	FIX	SCI	ENG
A	a	B	b	C	c	D	d	E	$\lambda_3$	I	x				DEG	FIX
															GRAD	SCI
															RAD	ENG
																n_4

# Program Description

**Program Title**

Name

Date

Address

City

State

Zip Code

**Program Description, Equations, Variables, etc.****Operating Limits and Warnings****DO NOT USE THIS SPACE**