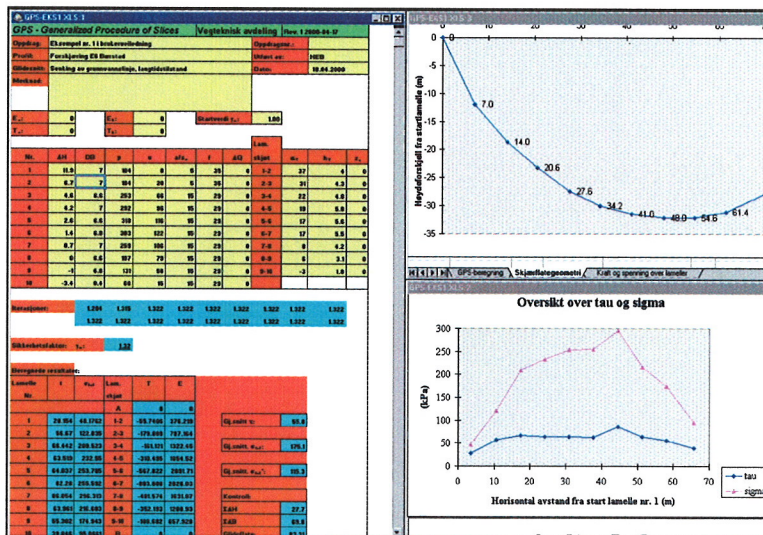


Intern rapport nr. 2166

GPSEXCEL.XLS

Program for beregning av
skråningsstabilitet.
Excel-versjon



Juli 2000

Intern rapport nr. 2166

GPSEXCEL.XLS

Program for beregning av skråningsstabilitet.

EXCEL-versjon

Sammendrag

Rapporten gir en veiledning i bruk av stabilitetsprogram GPS basert på Janbus "Generalized Procedure of Slices". Programmet er tilpasset til bruk for Excel versjon 5.0 eller nyere.

GPS er et program beregnet for stabilitetsanalyser, bæreevne og jordtrykksberegninger og ble opprinnelig utviklet ved NTH i Trondheim. Programmet er basert på at hver lamell skal tilfredsstillende tre likevektslikninger.

Emneord: *Geoteknikk, program (EDB), skråningsstabilitet, regneark*

Kontor: *Geoteknisk kontor*

Saksbehandler: *Hermann Bruun*

/HEB

Dato: *Juli 2000*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

1. INNLEDNING	3
2. BRUKSOMRÅDER	3
3. INNGANGSDATA	4
4. GPSEXCEL.XLS	7
4.1 Oppstart av GPSEXCEL.XLS	7
4.2 Bruk av GPSEXCEL.XLS	9
4.3 Avslutning av GPSEXCEL.XLS	10
5. EKSEMPEL	11
5.1 Eksempel på forskjæring ved Børstad, E6 Østfold	11
6. REFERANSER	17
BILAG	
Vedlegg 1 Formelgrunnlag	

1. Innledning

Program GPS er nå konvertert for bruk i Excel arbeidsbok. GPS er et program beregnet for stabilitetsanalyser, bæreevne og jordtrykksberegninger og ble opprinnelig utviklet ved NTH i 1970-årene. Programmet er basert på at hver lamell skal tilfredstille tre likevektsligninger.

Dokumentasjon utover denne bruksveiledningen kan finnes i litteratur utgitt av Norges Teknisk Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), se Ref. (1 og 2).

2. Bruksområder

Programmet GPS beregner de interne og eksterne kreftene som virker på hver lamell langs en tenkt skjærflate. Endelig løsning vises i tabellform i utskriften.

Anvendelsesområdet er stabilitetsanalyser, bæreevne- og jordtrykksberegninger med lamellemetoden på $a\phi$ - og s_u -basis. Beregninger kan utføres for korttidstilstand og langtidstilstand. Kjent poretrykk forutsettes for effektivspenningsanalyser. For udrenerte effektivspenningsanalyser må anslått poreovertrykk legges til for hver lamell.

For s_u -analyse settes $\tan \phi = 0$

3. Inngangsdata

Gi inn data i gule felt. Før start kan man fjerne all tekst og nullstille beregning ved å klikke på **Nullstill ark**. Vil man beholde teksten, men gi nye data, er det tilstrekkelig å klikke **Nullstill beregning**

Gi inn nødvendige opplysninger om oppdrag, profil osv. Følgende er beregnet på fri tekst:

Oppdrag, Profil, Glidesnitt, Merknad, Oppdragsnr., Utført av og Dato

The screenshot shows the 'GPSEXCEL.XLS' spreadsheet with the following data:

Nr.	ΔH	ΔB	p	u	Δs	f	ΔQ	skjær	a ₁	b ₁	z ₃
1	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	2.3	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	3.4	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	4.5	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	5.6	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	6.7	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	7.8	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	8.9	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	9.10	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0				

Iterations: 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000 1.000

Sikkerhetsfaktor: 1.00

Results window:

su/c
c=a*tan φ tan φ t₃

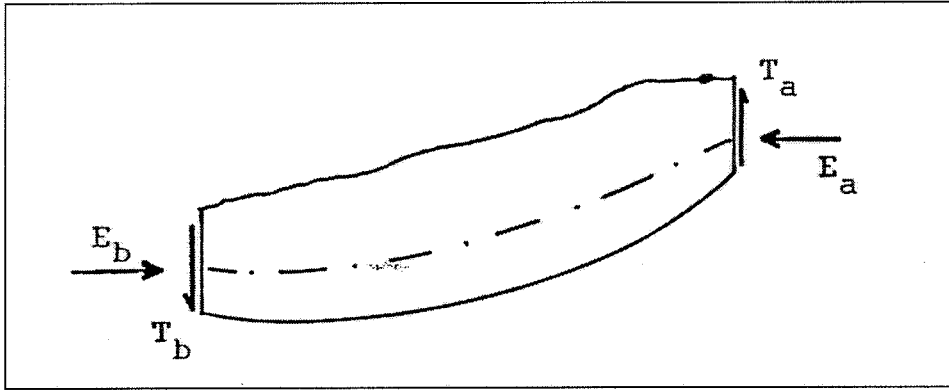
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	
0	0	

Klar for inntasting av inngangsdata.

Inngangsparametre:

E_a , T_a evt. normal og skjærkrefter på første lamelle

E_b , T_b evt. normal og skjærkrefter på siste lamelle



Fortegnsdefinisjon på endekrefter (E_a , T_a , E_b og T_b) Positive retninger vist, se ref. (2).

Startverdi γ_m initiell antakelse av sikkerhetsfaktor. Anbefalt verdi 1.0.

ΔH skjærflatens høydeforskjell over lamellebredden, se figur nedenfor. Positiv i aktiv sone, negativ i passiv sone.

ΔB lamellebredde, se figur neste side.

p gj.snittlig totalspenning for lamellen. ($p = \gamma H + q$ der γ er tyngdetetthet, H er lamellens gj.snittshøyde og q er ytre last)

u gj.snittlig poretrykk for lamellen

a/s_u materialets attraksjon for $a\phi$ beregning, eller udrenert skjærstyrke ved s_u beregning. s_u beregning for lamellen oppnås ved å sette friksjonsvinkelen ϕ lik null.

ϕ jordens friksjonsvinkel, angis i grader

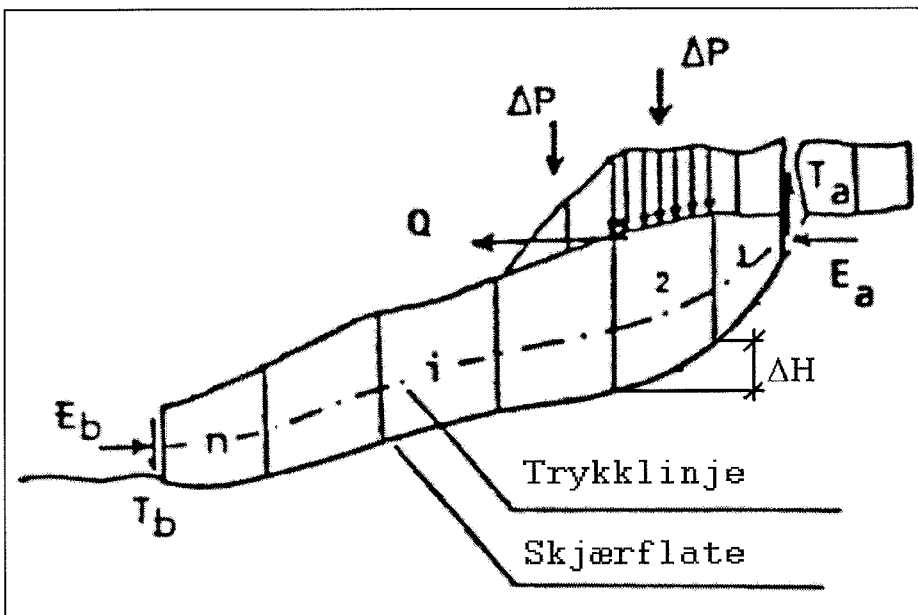
ΔQ horisontalkraft som virker på en lamelle, f.eks. jordarmering eller jordskjelv

Mellom hver lamell må høyden og helningen av trykklinjen angis

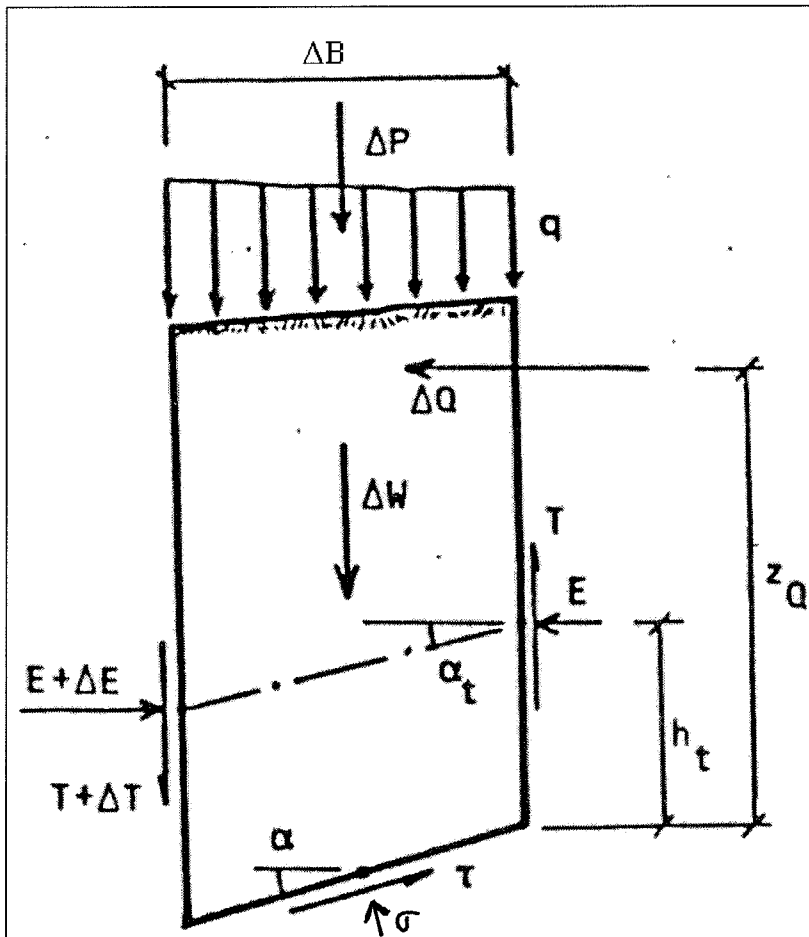
α_t helning av trykklinje, angis i grader

h_t høyde av trykklinje over skjærflaten

z_Q høyde til ΔQ



Definisjon av inngangsparametre for skjærflaten



Definisjon av inngangsparametre for en lamell.

Tips for valg av inngangsdata

I Ref. (2) er det anbefalt å benytte min. 5 lameller og i de fleste tilfeller er det tilstrekkelig å benytte 6 til 9 lameller.

Valg av trykklinjens beliggenhet anbefales å ligge mellom $H/2$ og $H/3$ over skjærflaten der H er lamellehøyden. Ved stabilitetsberegninger anbefales $H/3$ og for bæreevne $H/2$ i aktiv sone under fundamentet og $H/3$ i passiv sone.

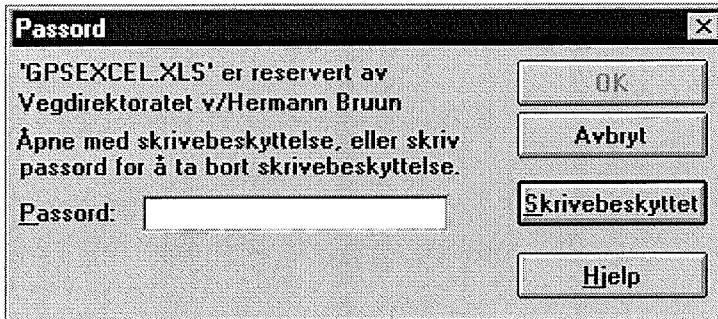
Den interne skjærkraften mellom lamellene kalles T og vises på resultatutskriften, se pkt. 5. Fordelingen av T bør ikke endre fortegn langs skjærflaten. T -fordelingen kan justeres ved å endre h_t .

Totalspenningene σ og skjærspenningene τ langs skjærflaten er vist på resultatutskriften. Fordeling av σ bør være jevn uten skarpe knekkpunkter. σ -fordelingen kan justeres ved å endre trykklinjens helning α_t .

4. GPSEXCEL.XLS

4.1 Oppstart av GPSEXCEL.XLS

Programmet startes fra snarvei på skrivebordet, velge GPSEXCEL.XLS i Utforsker eller starte opp Excel og deretter velge Fil->Åpne og GPSEXCEL.XLS. Følgende skjermbilde fremkommer:



Krav om passord

Programmet er beskyttet med passord og må åpnes med skrivebeskyttelse. Dette er gjort for at man bør lagre en kopi av programmet. Trykk på **Skrivebeskyttet** og programmet startes.

No	A1	GP	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Løsnelle	høyde	lanskjøt	Sumnerste / Avstand	lans bredde	tau	sigma
1	0.00	0.0	0	0.0	0	0
2	0.00	0.0	0	0.0	0	0
3	0.00	0.0	0	0.0	0	0
4	0.00	0.0	0	0.0	0	0
5	0.00	0.0	0	0.0	0	0
6	0.00	0.0	0	0.0	0	0
7	0.00	0.0	0	0.0	0	0
8	0.00	0.0	0	0.0	0	0
9	0.00	0.0	0	0.0	0	0
10	0.00	0.0	0	0.0	0	0

Det er benyttet følgende farger på cellene på skjermen. (Fargene vises ikke på papirutskrift):

rød	låste celler med beskrivende tekst
gul	celler for inntasting av tekst eller data
blå	celler med beregningsresultater eller mellomregning
grønn	programnavn og versjon

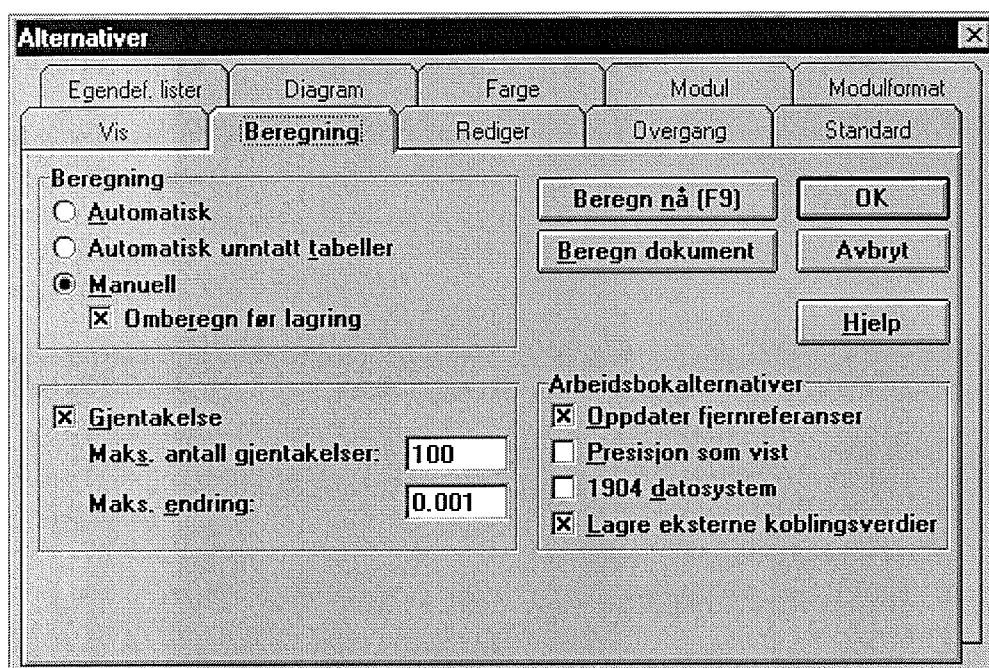
Bruken av programmet begrenser seg til rutene A1:L42 og to kommandomakroer som er plassert i celle N1 og N3. Cellene til høyre og nedenfor N7 er benyttet til mellomregning.

Kommandomakroene utfører følgende:

Nullstill ark alle data i beregningene blir nullstilt og alle opplysninger om Oppdrag, Profil osv. blir slettet. Ingen angremulighet.

Nullstill beregning alle data i beregningene blir nullstilt, men alle opplysninger om Oppdrag, Profil osv. blir bevart. Ingen angremulighet.

Pga. bruk av sirkelreferanser må man under nedtrekksmenyen **Verktøy** og **Alternativer** velge **Beregning** hver gang Excel startes. Der krysses av for **Manuell** og for **Gjentakelse** som vist nedenfor: Konvergenskravet (dvs. maks. endring) settes til 0.001 og antall iterasjoner (dvs. gjentakelser) settes til 100. For å utføre beregninger må man velge Beregn nå eller enklere, trykk F9.



Valgene for **Verktøy->Alternativer->Beregning**

4.2 Bruk av GPSEXCEL.XLS


Arbeidsboken GPSEXCEL.XLS består av 3 regneark.

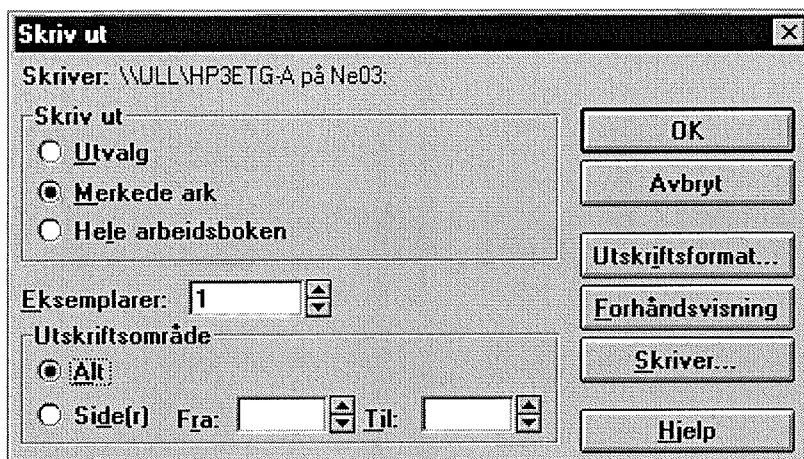
GPS-beregning	der inngangsdata skrives inn og beregning utføres.
Skjærflategeometri	opptegning av skjærflate basert på inngangsdata
Kraft og spenning over lameller	fremstilling av skjærspenning og E og T krefter i hver lamelleskjøt basert på utført beregning.

De ulike regnearkene aktiviseres ved å trykke på arkfanen nederst.

Vær oppmerksom på at alle inngangsdata skrives på arket **GPS-beregning**. I arkene **Skjærflategeometri** og **Kraft og spenning over lameller** vises kun resultater

Utskrift velges på vanlig måte i Excel.

Velg  på verktøylinjen eller **Fil** og **Skriv ut**. Her kan man velge **Merkede ark** eller **Hele arbeidsboken** for å få alle 3 regnearkene i en operasjon.

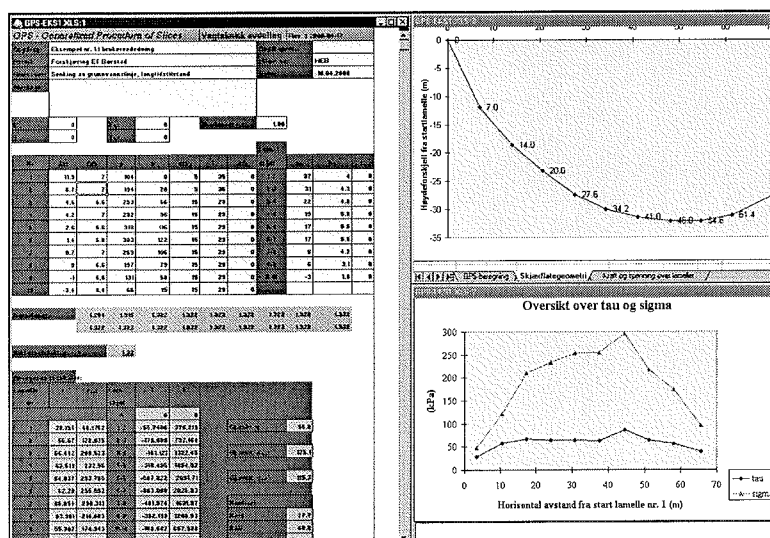


Fil->Skriv ut

Topp og bunntekster kan endres etter eget ønske. I toppteksten kan man f.eks. endre fra Statens vegvesen Vegdirektoratet til Statens vegvesen Nordland.

Tilpasning av skjermvindu

Det er mulig å ha flere ark framme samtidig i Excel. Først startes programmet med et vindu. Deretter kan man åpne flere vinduer av samme arbeidsbok med **Vindu->Nytt vindu**. Når alle tre arkene er åpne velges **Vindu->Ordne**. Det er da mulig å ha oversikt over alle endringer direkte. Det er en fordel med 19" eller 21" skjerm og høy oppløsning for å kunne utnytte dette.



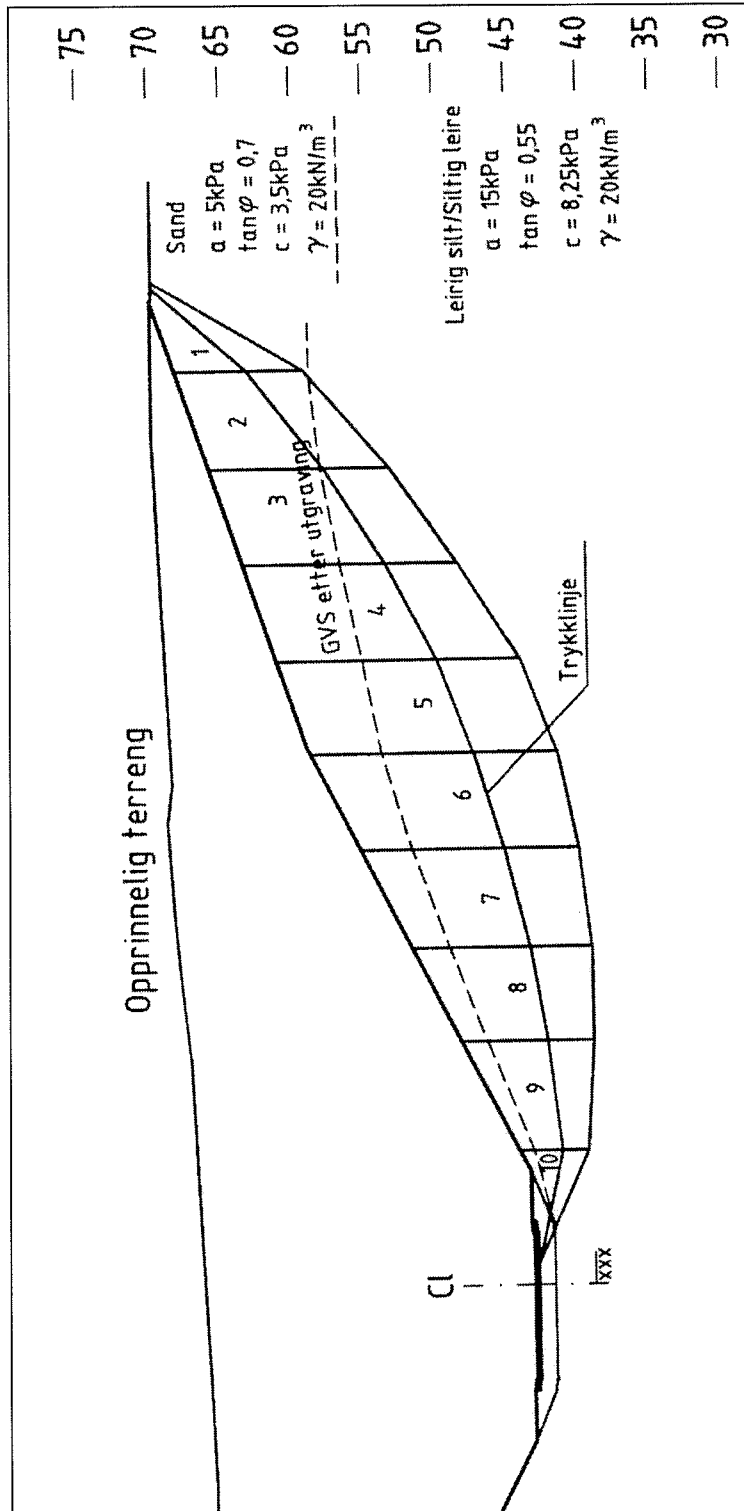
Eksempel med alle tre ark åpne samtidig.

4.3 Avslutning av GPSEXCEL.XLS

Hvis du ønsker å lagre resultatet, anbefales det at du ikke erstatter GPSEXCEL.XLS, men at du lagrer filen under et annet navn. Dette for å bevare den nullstilte arbeidsboken.

5. Eksempel

5.1 Eksempel på forskjæring ved Børstad, E6 Østfold



Figuren er i målestokk ca. 1:500.

Beregningseksempel for langtidstilstand for forskjæring ved Børstad, E6 Østfold.

Inngangsdata er:

Sand:

Friksjon $\tan \varphi = 0.7$

Attraksjon $a = 5 \text{ kPa}$

Tyngdetetthet $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

Leirig silt/Siltig leire:

Friksjon $\tan \varphi = 0.55$

Attraksjon $a = 15 \text{ kPa}$

Tyngdetetthet $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

Grunnvannstand og antatt trykklinje er vist ovenfor.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "Microsoft Excel - GPS-EKS1.XLS". The spreadsheet is divided into several sections:

- Input Data (Rows 18-21):** A table with columns A through O. Row 18: A=7, B=0.7, C=7, D=259, E=106, F=15, G=29, H=0, I=7.9, J=8, K=4.2, L=0, M=, N=8.314636, O=0.55430. Row 19: A=8, B=0, C=6.6, D=197, E=79, F=15, G=29, H=0, I=8.9, J=6, K=3.1, L=0, M=, N=8.314636, O=0.55430. Row 20: A=9, B=-1, C=6.8, D=131, E=68, F=15, G=29, H=0, I=9.10, J=-3, K=1.8, L=0, M=, N=8.314636, O=0.55430. Row 21: A=10, B=-3.4, C=8.4, D=66, E=15, F=15, G=29, H=0, I=, J=, K=, L=, M=, N=8.314636, O=0.55430.
- Iteration Results (Rows 23-24):** A table showing iteration values for columns C through O. Row 23: C=1.204, D=1.315, E=1.322, F=1.322, G=1.322, H=1.322, I=1.322, J=1.322, K=1.322, L=1.322. Row 24: C=1.322, D=1.322, E=1.322, F=1.322, G=1.322, H=1.322, I=1.322, J=1.322, K=1.322, L=1.322.
- Safety Factor (Row 26):** "Sikkerhetsfaktor" = 1.32.
- Calculated Results (Rows 29-41):** A table with columns A through O. Row 29: "Beregnete resultater". Row 30: "Lamelle Nr.", "t", "q_{skj}", "Lam. skjøt", "T", "E". Row 31: A=1, t=28.154, q_{skj}=48.1762, Lam. skjøt=A, T=0, E=0. Row 32: A=2, t=56.67, q_{skj}=122.035, Lam. skjøt=A, T=-55.7406, E=376.22. Row 33: A=3, t=66.442, q_{skj}=209.523, Lam. skjøt=A, T=-179.809, E=797.16. Row 34: A=4, t=63.519, q_{skj}=232.55, Lam. skjøt=A, T=-310.495, E=1854.5. Row 35: A=5, t=64.037, q_{skj}=253.786, Lam. skjøt=A, T=-667.822, E=2091.7. Row 36: A=6, t=62.28, q_{skj}=265.692, Lam. skjøt=A, T=-803.008, E=2026. Row 37: A=7, t=66.054, q_{skj}=296.313, Lam. skjøt=A, T=-481.574, E=1631.1. Row 38: A=8, t=63.961, q_{skj}=174.803, Lam. skjøt=A, T=-352.193, E=1208.9. Row 39: A=9, t=65.302, q_{skj}=174.943, Lam. skjøt=A, T=-108.682, E=657.93. Row 40: A=10, t=39.846, q_{skj}=95.0661, Lam. skjøt=B, T=0, E=0. Row 41: Summary values: "Gj.snitt t": 55.8, "Gj.snitt q_{skj}": 175.1, "Gj.snitt q_{skj}'": 116.3, "Kontroll": "ΣΔH": 27.7, "ΣΔE": 69.8, "Slideflate": 83.3104.

Resultater fra beregningen.

Iterasjonene er vist og i dette eksemplet konvergerer resultatet etter 3. iterasjonen. Vanligvis konvergerer resultatet etter 3-7 iterasjoner.

Som en kontroll på inngangsdatabene er angitt total høydeforskjell $\Sigma\Delta H$ og totalbredde $\Sigma\Delta B$ for skjærflaten samt lengden av glideflaten. Resultatutskriftene er vist på de neste sidene.

Kommentarer til utskriftene:

De interne skjærkreftene mellom lamellene er kalt T. I eksemplet er T-fordelingen jevn og har samme fortegn for hele skjærflaten. T-fordelingen kan evt. justeres ved å endre trykklinjens høyde h_t .

Normalspenningen σ er ikke helt jevn, men kan aksepteres og kan evt. justeres ved å endre trykklinjens helning α_t .

Statens vegvesen Vegdirektoratet

Geoteknisk kontor

GPS - Generalized Procedure of Slices		Statens vegvesen Vegdirektoratet		Rev. 1 2000-04-17	
Oppdrag:	Eksempel nr. 1 i brukerveiledning			Oppdragsnr.:	
Profil:	Forskjæring E6 Børstad			Utført av:	HEB
Glidesnitt:	Senking av grunnvannslinje, langtidstilstand			Dato:	18.04.2000
Merknad:					
E _a :	0	E _b :	0	Startverdi γ_m :	1.00
T _a :	0	T _b :	0		

Nr.	ΔH	ΔB	p	u	a/s _u	ϕ	ΔQ	Lam. skjøt	α_T	h _T	z _q
1	11.9	7	104	0	5	35	0	1-2	37	4	0
2	6.7	7	194	20	5	35	0	2-3	31	4.3	0
3	4.6	6.6	253	66	15	29	0	3-4	22	4.8	0
4	4.2	7	292	96	15	29	0	4-5	19	5.8	0
5	2.6	6.6	318	116	15	29	0	5-6	17	5.6	0
6	1.4	6.8	303	122	15	29	0	6-7	17	5.5	0
7	0.7	7	259	106	15	29	0	7-8	8	4.2	0
8	0	6.6	197	79	15	29	0	8-9	6	3.1	0
9	-1	6.8	131	58	15	29	0	9-10	-3	1.8	0
10	-3.4	8.4	66	15	15	29	0				

Iterasjoner:	1.204	1.315	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322
	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322	1.322

Sikkerhetsfaktor: γ_m : 1.32

Beregnete resultater:

Lamelle Nr.	τ	σ_{tot}	Lam. skjøt	T	E
			A	0	0
1	28.1536	48.1762	1-2	-55.74063	376.219
2	56.6697	122.035	2-3	-179.809	797.164
3	66.4424	209.523	3-4	-161.1206	1322.45
4	63.5195	232.55	4-5	-310.4948	1854.52
5	64.0372	253.785	5-6	-567.8218	2091.71
6	62.28	255.592	6-7	-803.0079	2026.03
7	86.0543	296.313	7-8	-481.5739	1631.07
8	63.9614	216.603	8-9	-352.1932	1208.93
9	55.3021	174.943	9-10	-108.6816	657.928
10	39.8456	95.0661	B	0	0

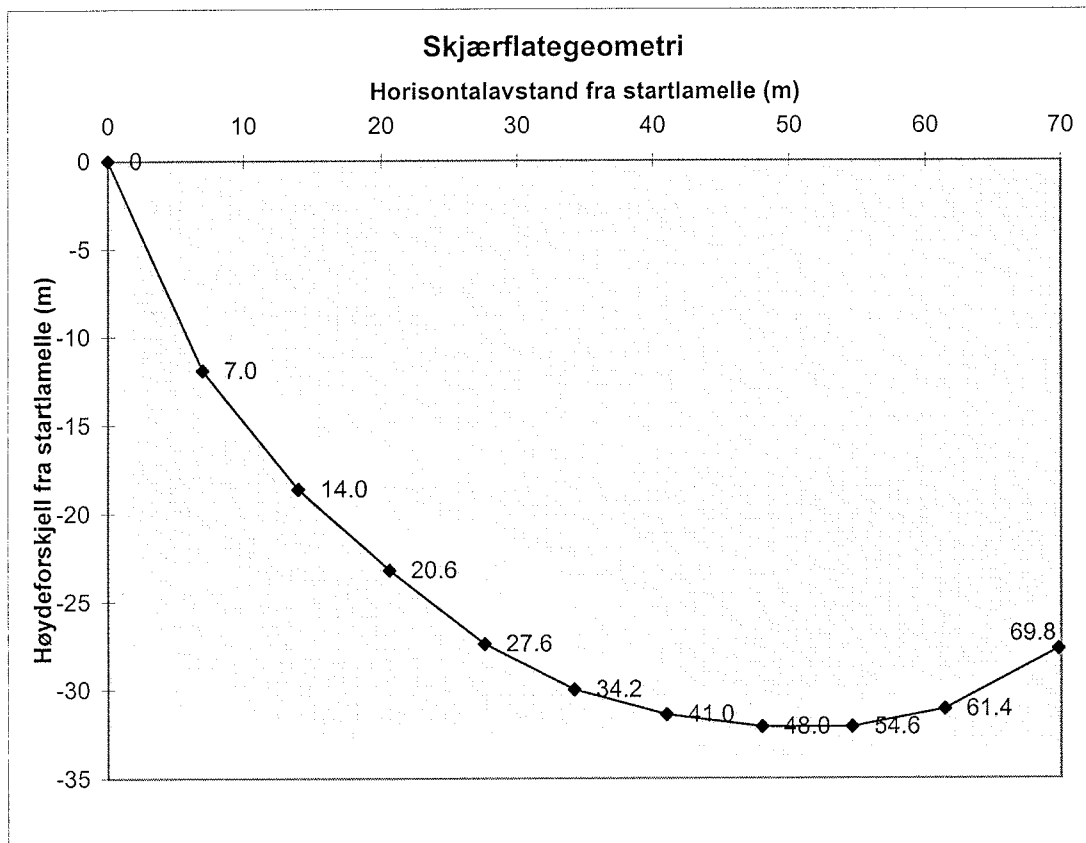
Gj.snitt τ : 55.8Gj.snitt. σ_{tot} : 175.1Gj.snitt. σ_{tot}' : 115.3

Kontroll:	
$\Sigma \Delta H$	27.7
$\Sigma \Delta B$	69.8
Glideflate:	83.31

Statens vegvesen Vegdirektoratet

Geoteknisk kontor

GPS - Generalized Procedure of Slices		Statens vegvesen Vegdirektoratet	Rev. 1 2000-04-17
Oppdrag:	Eksempel nr. 1 i brukerveiledning	Oppdragsnr.:	
Profil:	Forskjæring E6 Børstad	Utført av:	HEB
Glidesnitt:	Senking av grunnvannslinje, langtidstilstand	Dato:	18.04.2000
Merknad:			

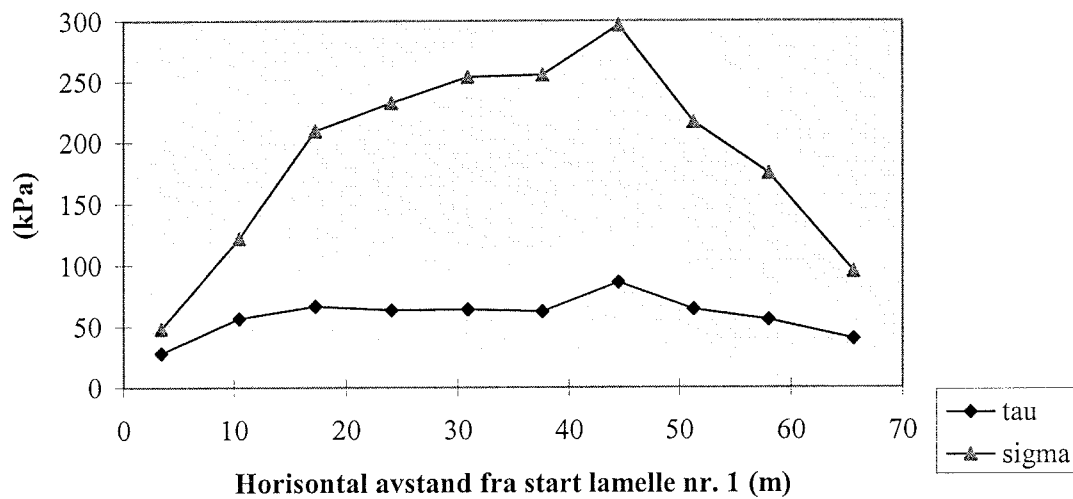


Statens vegvesen Vegdirektoratet

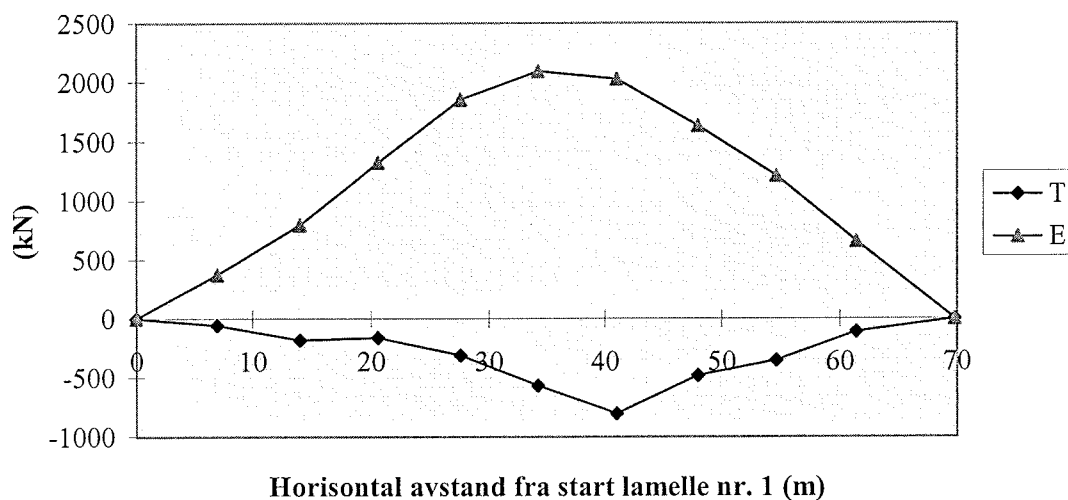
Geoteknisk kontor

GPS - Generalized Procedure of Slices		Statens vegvesen Vegdirektoratet	Rev. 1 2000-04-17
Oppdrag:	Eksempel nr. 1 i brukerveiledning	Oppdragsnr.:	
Profil:	Forskjæring E6 Børstad	Utført av:	HEB
Glidesnitt:	Senking av grunnvannslinje, langtidstilstand	Dato:	18.04.2000
Merknad:			

Oversikt over tau og sigma



Oversikt over T og E



Kraft og spenning over lameller

GPS-EKS1.XLS

05.06.2000 14:26

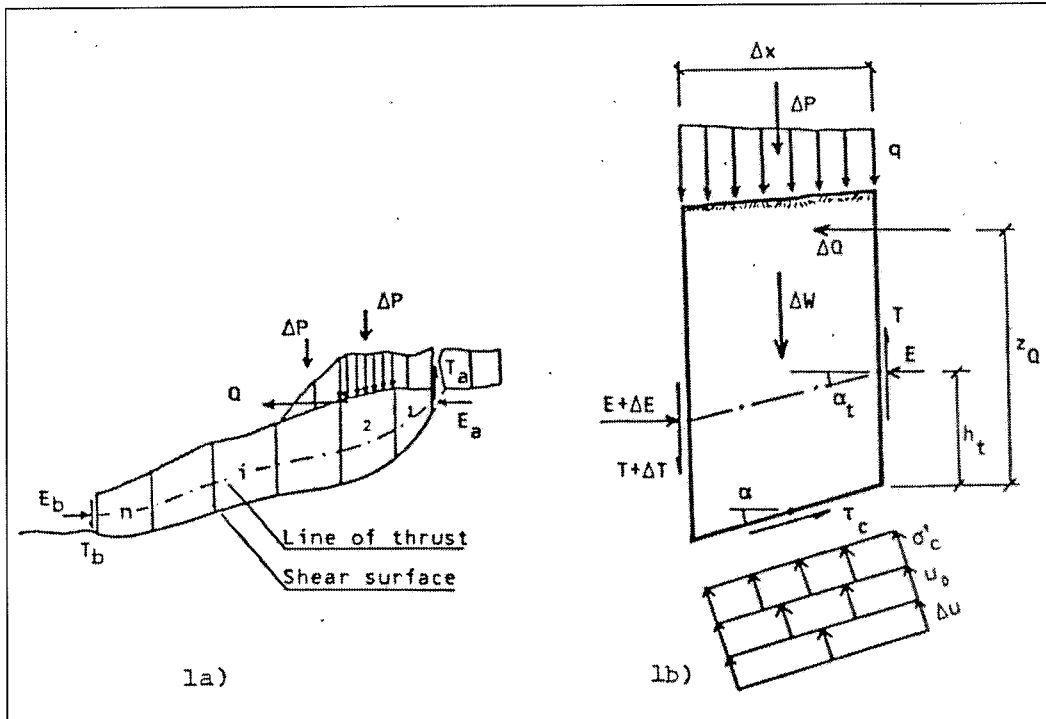
6. Referanser

- (1) Öner, M. "Program GPS", users manual. Slope stability analysis by Janbus Generalized Procedures of Slices. Institutt for geoteknikk og fundamenteringslære, NTH, (1974)
- (2) Janbu, N. Slope Stability Computations. Embankment Dam Engineering. Casagrande Volume pp. 47-86. John Wiley & Sons. (1973)
- (3) Bruun, H. GPS - Program for beregning av skråningsstabilitet. Intern rapport nr. 1883 fra Veglaboratoriet. (1996)

Vedlegg 1

Formelgrunnlag

I figur 1 nedenfor er vist definisjon av krefter og betegnelser på lamelle i.



Definisjon av krefter for lamelle

Løsningsmetodikken i programmet er som følger.

1. Initialisering:

$\gamma_m = \text{estimat}$ (f.eks. 1.0)
 $\Delta T = 0$ alle lameller

2. For hver lamelle beregnes følgende:

$$A = \frac{[c + (p - u)\Delta x + \Delta T] \tan \theta}{n_\alpha}$$

$$B = [p \cdot \Delta x + \Delta T] \tan \alpha$$

$$n_{\alpha} = \frac{1 + \tan \alpha \cdot \frac{\tan \varphi}{\gamma_m}}{1 + \tan^2 \alpha}$$

3. Beregner ny γ_m :

$$\gamma_m = \frac{\Sigma A}{\Sigma B + \Sigma \Delta Q}$$

4. Repeter steg 2 og 3 inntil γ_m konvergerer.

5. Beregn nye sidekrefter (E og T):

$$\Delta E = B + \Delta Q - \frac{A}{F}$$

$$E_i = E_{i-1} + \Delta E_{i-1}$$

$$T_i = -E_i \cdot \tan \alpha_i + h_i \cdot \frac{dE}{dx} - z_q \cdot \frac{dQ}{dx}$$

$$\Delta T_{i-1} = T_i - T_{i-1}$$

6. Repeter steg 2 til 5, med nye krefter beregnet i steg 5, inntil γ_m konvergerer.