

Tekniska Högskolan i Lund  
Avdelningen för Bärande Konstruktioner



Lund Institute of Technology  
Department of Structural Engineering

# SILO-LÄTT

## - ETT BERÄKNINGSPROGRAM

EXAMENSARBETE

Handledare: Alberto Herrera

LUND NOVEMBER 1989

Susanne Heyden  
Eva Johansson

5043

# SILO-LÄTT

- ETT BERÄKNINGSPROGRAM

# FÖRORD

Detta examensarbete är utfört vid avdelningen för Bärande Konstruktioner, Lunds Tekniska Högskola.

Projektet har bestått av att utveckla ett program för dimensionering av betongsilor.

Denna rapport innehåller en redovisning av vårt arbete samt en manual till programmet.

Vi tackar Göran Nilsson, NCC, för idén, Alberto Herrera, Bärande Konstruktioner, för handledning och uppmuntran, Ingbritt Larsson, Bärande Konstruktioner, för hjälp med figurer och tryckning, samt Anders Persson för hjälp med teoretiska och praktiska problem.

Lund 891126

Susanne Heyden

Eva Johansson

## SAMMANFATTNING

Silo-Lätt är ett PC-baserat datorprogram som beräknar snittstorheter som förskjutning, moment, tvärkraft, ringkraft m m för en cirkulär cylindrisk rotationssymmetrisk betongsilo.

Rapporten inleds med allmänna resonemang om programmets användningsområde och begränsningar.

Därefter redovisas den teoretiska bakgrunden till problemet och programmets uppbyggnad.

Rapporten avslutas med en detaljerad instruktion för exekvering av programmet.

# Innehållsförteckning

<b>1 ALLMÄNT</b>	<b>4</b>
1.1 Syfte . . . . .	4
1.2 Användningsområde . . . . .	4
1.3 Begränsningar . . . . .	5
<b>2 PROBLEMBESKRIVNING</b>	<b>7</b>
2.1 Membranteori . . . . .	7
2.2 Bøjteori . . . . .	12
2.3 Kombinerad Membran och Bøjteori . . . . .	14
2.4 Inspänningsmoment och tvärkraft vid olika randvillkor . . . . .	17
2.5 Tøjningsskillnad och krympningsskillnad . . . . .	20
2.6 Temperaturgradient i vägg . . . . .	21
2.7 Diskontinuerlig last . . . . .	21
<b>3 PROGRAMBESKRIVNING.</b>	<b>23</b>
3.1 Huvudprogram . . . . .	23
3.2 Behandling av indata . . . . .	24
3.3 Beräkningar . . . . .	25
3.4 Utskrift . . . . .	26
<b>4 BERÄKNINGSEXEMPEL</b>	<b>27</b>
<b>5 MANUAL</b>	<b>30</b>
5.1 Inledande frågor . . . . .	30
5.2 Menyhantering . . . . .	32
5.2.1 Geometri och materialdata . . . . .	32
5.2.2 Randvillkor . . . . .	33
5.2.3 Grundlastfall . . . . .	34
5.2.4 Lastkombinationer . . . . .	38
5.2.5 Utdata . . . . .	39
<b>Referenser</b>	<b>41</b>

# 1 ALLMÄNT

## 1.1 Syfte

Att räkna ut dimensionerande snittkrafter för en silo med statistiskt obestämda upplagsförhållanden innebär ett omfattande och tidskrävande räknearbete. Målet med examensarbetet är att låta datorn ta över detta arbetsmoment. Åt konstruktören lämnar vi det mycket viktiga arbetet att klargöra lastförutsättningar och välja beräkningsmodell. Datorn tar där vid och levererar en snittkraftsfördelning. För att bestämma en lämplig armeringsfördelning krävs ingenjörsmässighet, därför har detta moment ej implementerats utan lämnas åt konstruktören. Vår förhoppning är att man vid anbudsberäkningar mycket snabbt skall kunna få fram ungefärliga dimensioner, och att man vid den slutliga dimensioneringen skall kunna prova en mängd olika alternativ utan att för den skull lägga ner mycket tid på beräkningar.

## 1.2 Användningsområde

Silo-Lätt är ett program som beräknar snittstorheter för en cirkulär cylindrisk rotationssymmetrisk betongsilo under viss given belastning. När det gäller geometrin kan höjd, radie och väggtjocklek för cylindern väljas. Vid grund och i ovankant anses cylindern vara helt fri, fritt upplagd eller fast inspänd resp inspänd i betongtakplatta med önskad tjocklek. De materialstorheter som kan varieras är elasticitetsmodul för cylinder och tak, längdutvidgningskoefficient och tvärkontraktionstal.

De behandlade lasttyperna är följande:

- **Egentyngd-** Vid inspänning i takskiva medräknas även takskvans egentyngd, annars endast betongcylinderns tyngd.
- **Övertryck-** Invändigt övertryck eller undertryck.
- **Vätsketryck-** Triangelformad utbredd last. Indata är vätskans densitet.

- **Spännkraft Vätsketryck-** Vid spännarmerad silo kan ett ”motriktat vätsketryck” läggas på . Kraften anges i procent av vätsketrycket.
- **Silotryck-** Horisontellt tryck och vertikal friktionslast av friktionsmaterial enligt SBN 80. Indata är fyllningens densitet, friktionsvinkel och reduktionsfaktorn  $\alpha$ . Det finns möjlighet att räkna med tryckökning, dock ej lokal, utan över hela silon samtidigt.
- **Spännkraft Silotryck-** Vid spännarmerad silo kan ett ”motriktat silotryck” läggas på. Kraften anges i procent av silotrycket.
- **Temperaturskillnad vägg-grund**
- **Temperaturskillnad vägg-tak**
- **Temperaturgradient i vägg**
- **Krympningsskillnad vägg-grund**
- **Krympningsskillnad vägg-tak**
- **Last på tak**

Ovanstående lasttyper kan kombineras i upp till tio olika lastkombinationer med olika viktskoefficienter.

Önskade storheter skrivs ut i tabellform med valt utskriftsintervall. Resultatet skrivs ut på skärm, fil eller skrivare.

### 1.3 Begränsningar

Programmet förutsätter fullständig rotationssymmetri hos konstruktion och last. Detta innebär tex att silon måste tömmas centriskt, ha jämntjocka väggar utan hål i och att man ej kan behandla vindlast. Om dessa förutsättningar ej är uppfyllda kan man ofta använda programmet ändå och överlagra effekterna av assymmetrin. Det kan i vilket fall som helst vara lämpligt att studera effekterna av en punktformig eller mycket lokal belastning på silon eftersom många skador har berott på ett lokalt högre anliggningstryck vid tex imperfektioner på silons inneryta.

Vid beräkningen är man hänvisad till att välja några av de uppräknade randvillkoren, fjäderstyvheten kan alltså inte fritt väljas för upplagen.

Vid dimensionering för vätsketryck och silotryck kan beräkning endast göras för helt fylld silo. Om beräkning önskas för delvis fylld silo kan man sätta silons höjd till önskad fyllningshöjd och ange helt fri silo i ovankanten. Detta innebär inte någon större approximation för silo som är helt fri i ovankanten. Vid fri uppläggning och fast inspänning förloras information om randstörningarna i toppen, men detta är ganska lokala effekter.

Effekt av spännarmering medräknas på så sätt att spännkraften anges i procent av vätske- eller silotryck, man kan alltså inte välja en viss minimispännkraft som träder in då trycket understiger ett visst värde.

Enligt SBN 80 skall man vid fyllning med friktionsmaterial räkna med en lokal tryckökning vid tömning som anses kunna glida längs hela silons höjd utom nedersta biten. I programmet kan man välja att få denna tryckökning över hela silon samtidigt. Detta ger en god bild av den dimensionerande ringkraften längs silon men visar inte alls effekterna på momentet. Därför görs en separat approximativ beräkning av momentet vid lokal tryckökning. Denna utgör en god approximation utom nära ränderna där den är direkt felaktig. Därför räknas den inte med i lastkombinationerna utan ges som ett separat värde.

Vid temperaturskillnad resp krympskillnad mellan cylinder och rand har förutsatts att silon blir kvar i sitt ursprungliga tillstånd och att det är tak resp grund som temperaturändras eller krymper. Om inte detta gäller så måste man definiera en begynnelse-temperatur för cylinder, tak och grund var för sig. Dessa jämförs med aktuella temperaturer och därur bestäms förskjutningar och krafter.

Fallet med temperaturgradient i väggen är ej löst för fallet cylinder inspänd i takskena.

Då man anger elasticitetsmodul till programmet anger man betongens elasticitetsmodul. Detta betyder att beräkningarna bara ger korrekta resultat i osprucket stadium. Då betongen börjar spricka får man ett material med mer komplicerade konstitutiva samband och teorier som bygger på Hookes' lag kan inte anses gälla.

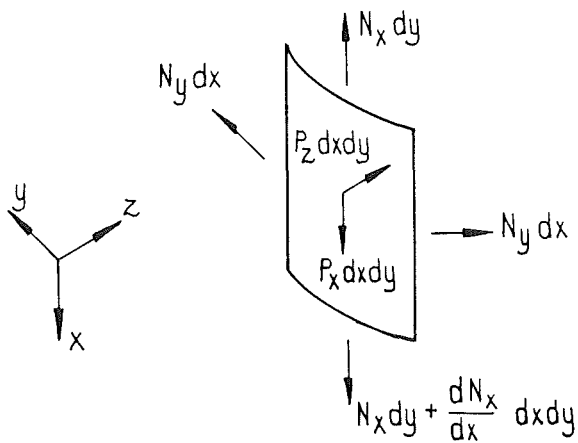


## 2 PROBLEMBESKRIVNING

Den allmänna skalteorin kan förenklas kraftigt då en cirkulär cylinder skall beskrivas. Det som fortfarande komplicerar beräkningarna är om rändernas upplagsförhållanden är statiskt obestämda. Här behandlas problemet silo, eller cirkulär cylinder, i flera steg. Först antas cylinderns ändrar vara helt fria, dvs statiskt bestämda upplagsförhållanden råder, och uttryck för deformation och vinkeländring orsakad av olika lasttyper härleds. För detta används membranteorin som förutsätter att endast krafter i skalets plan finns i cylindern. Därefter presenteras böjteorin, effekten av moment och tvärkraft vid randen undersöks och det utreds vilka krafter som förekommer vid olika upplagsförhållanden. Till sist diskuteras speciella lastfall och hur diskontinuerliga laster kan behandlas.

### 2.1 Membranteori

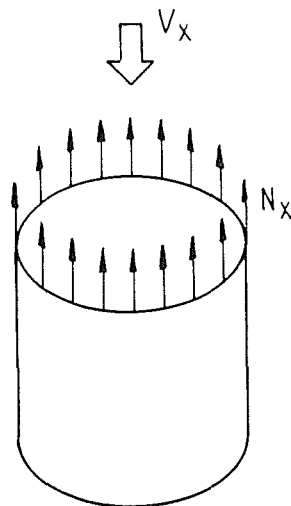
Membranteori ger en god approximation för verknings sättet hos ett kontinuerligt skal med kontinuerlig last och statiskt bestämda upplagsförhållanden. Då lastens andra- och tredjederivata  $\neq 0$  försummas uppkommande moment och tvärkrafter. Detta är fallet med silolast på cylindervägg orsakad av friktionsmaterial, då denna last antas vara exponentialformad. Här härleds uttryck för förskjutning, vinkeländring och vertikalkraft hos en rak cirkulär cylinder som påverkas av en kontinuerlig rotationssymmetrisk vertikal eller horisontell belastning. De behandlade lasttyperna är egentynngd, linjelast i ovankanten, exponentialformad utbredd vertikal friktionslast av fyllning, vätsketryck, invändigt övertryck samt silotryck.



- $w$  - förskjutning i  $x$ -led
- $a$  - cylinderns radie
- $t$  - cylinderns vägg tjocklek
- $l$  - cylinderns höjd
- $E$  - cylinderns Elasticitetsmodul
- $\nu$  - cylinderns tvärkontraktionstal
- $p_x$  - utbredd last på silon i  $x$ -led, vertikalled
- $p_y$  - utbredd last på silon i  $y$ -led, tangentiell led
- $p_z$  - utbredd last på silon i  $z$ -led, radiell led
- $N_x$  - inre kraft i  $x$ -led, vertikalkraft
- $N_y$  - inre kraft i  $y$ -led, ringkraft

Då rotationsymmetri gäller för cylinder och last måste  $p_y$  vara noll,  $N_y$  vara konstant i ringsled och inga skjuvkrafter uppkommer i skalets plan. För att få fram samband mellan yttre belastning och inre krafter görs jämviktsbetraktelser i  $x$ - resp  $z$ -led.

Kraftjämvikt i  $x$ -led:

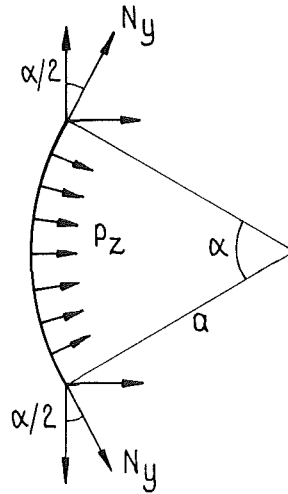


$V_x$  - sammanlagd vertikal last ovanför snittet  $x$

$$2\pi a N_x + V_x = 0$$

$$N_x = -\frac{V_x}{2\pi a}$$

Kraftjämvikt i z-led:



$\alpha$  – medelpunktsvinkel

$$p_z a \alpha + 2N_y \sin \frac{\alpha}{2} = 0$$

$\sin \alpha \approx \alpha$ , om  $\alpha$  litet

$$N_y = -p_z a$$

Materialsamband ger töjning i tangentiell led som funktion av inre krafter:

Hookes' lag:  $\epsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x)$ ,  $\sigma_z$  försummas för skal

$$\epsilon_y = \frac{1}{Et}(N_y - \nu N_x)$$

För att slutligen uttrycka deformationen i de inre krafterna behövs ett geometriskt samband:

$$\epsilon_y = \frac{2\pi(a-w) - 2\pi a}{2\pi a} = -\frac{w}{a}$$

Detta ger förskjutning och vinkeländring:

$$w = -\epsilon_y a = -\frac{a}{Et}(N_y - \nu N_x)$$

$$\frac{dw}{dx} = -\frac{a}{Et}\left(\frac{dN_y}{dx} - \nu \frac{dN_x}{dx}\right)$$

Dessa uttryck tillämpas på de olika lastfallen:

Linjelast i cylinderns ovkant,  $-p$  [ $N/m$ ]:

$$\begin{aligned} N_x &= -p \\ w &= -\frac{pa\nu}{Et} \\ \frac{dw}{dx} &= 0 \end{aligned}$$

Egentyngd,  $-p$  [ $N/m^2$ ]:

$$\begin{aligned} N_x &= -p(l-x) \\ w &= -\frac{pa\nu}{Et}(l-x) \\ \frac{dw}{dx} &= \frac{pa\nu}{Et} \end{aligned}$$

Vertikal friktionslast av fyllning,  $-p(x)$  [ $N/m^2$ ]:

$$\begin{aligned} p(x) &= -C_1(1 - e^{-C_2(l-x)}) \\ N_x(x) &= \int_x^l -p(r) dr = -C_1 \left[ (l-x) - \frac{1}{C_2}(1 - e^{-C_2(l-x)}) \right] \\ w &= -\frac{a\nu}{Et} N_x(x) = \frac{a\nu}{Et} C_1 \left[ (l-x) - \frac{1}{C_2}(1 - e^{-C_2(l-x)}) \right] \\ \frac{dw}{dx} &= -\frac{a\nu}{Et} \frac{dN_x}{dx} = \frac{a\nu}{Et} C_1 \left[ e^{-C_2(l-x)} - 1 \right] \end{aligned}$$

Jämmt utbredd horisontell last,  $-p$  [ $N/m^2$ ]:

$$w_p = -\frac{p}{4\kappa^4 D} \quad , \quad \kappa^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{a^2 t^2}$$
$$w'_p = 0$$

Triangulärt utbredd last, tex vätsketryck av vätska med tungheten  $\gamma$  [ $N/m^3$ ]:

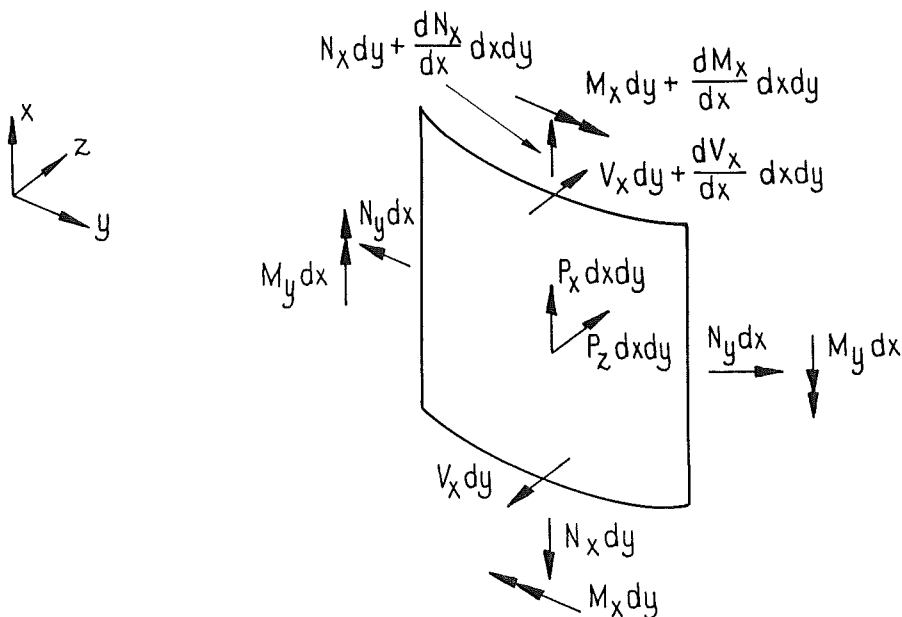
$$p(x) = -\gamma(l-x) \text{ [N/m}^2\text{]}$$
$$w_p = -\frac{\gamma(l-x)}{4\kappa^4 D}$$
$$w'_p = \frac{\gamma}{4\kappa^4 D}$$

Exponentiellt utbredd last av silotryck enligt SBN 80,  $-p(x)$  [ $N/m^2$ ]:

$$p(x) = -C_1(1 - e^{-C_2(l-x)})$$
$$w_p = -\frac{C_1}{4\kappa^4 D}(1 - e^{-C_2(l-x)})$$
$$w'_p = \frac{C_1 C_2}{4\kappa^4 D} e^{-C_2(l-x)}$$

## 2.2 Bøjteori

Bøjteorin ger möjlighet att beakta moment och tvärkrafter vinkelrätt mot skalets plan. Man kan behandla statistiskt obestämda upplagsförhållanden och diskontinuerlig last är inget formellt hinder.



Differentialekvationen som beskriver utböjningen vinkelrätt mot skalets plan hos en cylinder belastad med rotationssymmetrisk kontinuerlig last vinkelrätt mot skalets plan härleds i [1]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\kappa^4 w = \frac{p_z}{D} \quad (1)$$

där

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad \kappa^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{a^2 t^2}$$

Den allmänna lösningen till (1) är:

$$w(x) = e^{\kappa x} (C_1 \cos(\kappa x) + C_2 \sin(\kappa x)) + e^{-\kappa x} (C_3 \cos(\kappa x) + C_4 \sin(\kappa x)) + w_p(x)$$

Då  $w$  är känt fås moment och tvärkrafter ur platteorin:

$$M_x = -D \frac{d^2 w}{dx^2}$$

$$M_y = -D\nu \frac{d^2 w}{dx^2}$$

$$V_x = \frac{dM_x}{dx}$$

Ringkraften beräknas med hjälp av Hookes' lag:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$$

där

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{du}{dx} \\ \epsilon_y &= -\frac{2\pi(a+w) + 2\pi a}{2\pi a} = -\frac{w}{a} \end{aligned}$$

detta ger

$$\begin{aligned} N_x &= \sigma_x t = \frac{Et}{1-\nu^2} \left( \frac{du}{dx} - \nu \frac{w}{a} \right) \\ N_y &= \sigma_y t = \frac{Et}{1-\nu^2} \left( \nu \frac{du}{dx} - \frac{w}{a} \right) \end{aligned}$$

$\frac{du}{dx}$  löses ur den första ekvationen och sättes in i den andra:

$$\frac{du}{dx} = N_x \frac{1-\nu^2}{Et} + \frac{\nu w}{a}$$

$$\begin{aligned} N_y &= \frac{Et}{1-\nu^2} \left( \nu N_x \frac{1-\nu^2}{Et} + \frac{\nu^2 w}{a} - \frac{w}{a} \right) = \\ &= \nu N_x - \frac{Et w}{(1-\nu^2)a} (1-\nu^2) = \\ &= \nu N_x - \frac{Et w}{a} \end{aligned}$$

## 2.3 Kombinerad Membran och Bøjteori

Membranteorin ger inte en fullständigt korrekt lösning för  $w$  om lastens andraderivata  $\neq 0$ . Detta saknar dock praktisk betydelse vid aktuella belastningsfall, därför används membranteorins lösning på  $w$  för cylinder med statiskt bestämd uppläggning och på denna superponeras effekterna av eventuell inspanning. Effekterna av moment och tvärkraft vid randen beräknas med bøjteorins ekvation:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\kappa^4 w = \frac{p_z}{D}, \quad p_z = 0 \quad (2)$$

Den allmänna lösningen till (2) är:

$$w(x) = e^{\kappa x} (C_1 \cos(\kappa x) + C_2 \sin(\kappa x)) + e^{-\kappa x} (C_3 \cos(\kappa x) + C_4 \sin(\kappa x))$$

Här är  $C_1 = C_2 = 0$  eftersom  $w$  måste vara begränsad för stora  $x$ . Detta ger följande uttryck för de första tre derivatorna av  $w(x)$ :

$$\begin{aligned} w'(x) &= \kappa e^{-\kappa x} [C_3 (-\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) + C_4 (\sin(\kappa x) - \cos(\kappa x))] \\ w''(x) &= \kappa^2 e^{-\kappa x} [2C_3 \sin(\kappa x) - 2C_4 \cos(\kappa x)] \\ w'''(x) &= \kappa^3 e^{-\kappa x} [2C_3 (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) + 2C_4 (\sin(\kappa x) + \cos(\kappa x))] \end{aligned}$$

Med randvillkoren:

$$\begin{cases} M(0) = M_0 \\ V(0) = 0 \end{cases}$$

blir konstanterna  $C_3$  och  $C_4$ :

$$\begin{cases} C_3 = -\frac{M_0}{2\kappa^2 D} \\ C_4 = \frac{M_0}{2\kappa^2 D} \end{cases}$$

och med randvillkoren:

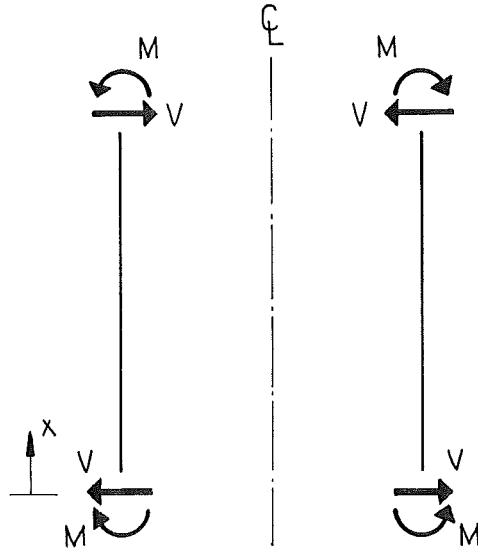
$$\begin{cases} M(0) = 0 \\ V(0) = V_0 \end{cases}$$



blir konstanterna  $C_3$  och  $C_4$ :

$$\begin{cases} C_3 = -\frac{V_0}{2\kappa^3 D} \\ C_4 = 0 \end{cases}$$

Detta och en ekvivalent beräkning i cylinderns andra ände,  $x = l$ , ger effekterna av moment och tvärkraft vid ränderna.



Moment  $M_0$  i  $x = 0$ :

$$\begin{cases} w(x) = \frac{e^{-\kappa x}}{2\kappa^2 D} (-\cos(\kappa x) + \sin(\kappa x)) M_0, & w(0) = \frac{-1}{2\kappa^2 D} M_0 \\ w'(x) = \frac{e^{-\kappa x}}{\kappa D} \cos(\kappa x) M_0, & w'(0) = \frac{1}{\kappa D} M_0 \\ N_x(x) = 0 \\ N_y(x) = 2\kappa^2 a e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) M_0 \\ M_x(x) = e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) + \sin(\kappa x)) M_0 \\ V_x(x) = -2\kappa e^{-\kappa x} \sin(\kappa x) M_0 \end{cases}$$

Moment  $M_0$  i  $x = l$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} w(x) = \frac{e^{-\kappa(l-x)}}{2\kappa^2 D} (-\cos(\kappa(l-x)) + \sin(\kappa(l-x))) M_0 \quad , \quad w(l) = -\frac{1}{2\kappa^2 D} M_0 \\ w'(x) = -\frac{e^{-\kappa(l-x)}}{\kappa D} \cos(\kappa(l-x)) M_0 \quad , \quad w'(L) = -\frac{1}{\kappa D} M_0 \\ N_x(x) = 0 \\ N_y(x) = 2\kappa^2 a e^{-\kappa(l-x)} (\cos(\kappa(l-x)) - \sin(\kappa(l-x))) M_0 \\ M_x(x) = e^{-\kappa(l-x)} (\cos(\kappa(l-x)) + \sin(\kappa(l-x))) M_0 \\ V_x(x) = 2\kappa e^{-\kappa(l-x)} \sin(\kappa(l-x)) M_0 \end{array} \right.$$

Tvärkraft  $V_0$  i  $x = 0$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} w(x) = -\frac{e^{-\kappa x}}{2\kappa^3 D} \cos(\kappa x) V_0 \quad , \quad w(0) = \frac{-1}{2\kappa^3 D} V_0 \\ w'(x) = \frac{e^{-\kappa x}}{2\kappa^2 D} (\sin(\kappa x) + \cos(\kappa x)) V_0 \quad , \quad w'(0) = \frac{1}{2\kappa^2 D} V_0 \\ N_x(x) = 0 \\ N_y(x) = 2\kappa a e^{-\kappa x} \cos(\kappa x) V_0 \\ M_x(x) = \frac{e^{-\kappa x}}{\kappa} \sin(\kappa x) V_0 \\ V_x(x) = e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) V_0 \end{array} \right.$$

Tvärkraft  $V_0$  i  $x = l$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} w(x) = \frac{e^{-\kappa(l-x)}}{2\kappa^3 D} \cos(\kappa(l-x)) V_0 \quad , \quad w(l) = \frac{1}{2\kappa^3 D} V_0 \\ w'(x) = \frac{e^{-\kappa(l-x)}}{2\kappa^2 D} (\sin(\kappa(l-x)) + \cos(\kappa(l-x))) V_0 \quad , \quad w'(l) = \frac{1}{2\kappa^2 D} V_0 \\ N_x(x) = 0 \\ N_y(x) = -2\kappa a e^{-\kappa(l-x)} \cos(\kappa(l-x)) V_0 \\ M_x(x) = -\frac{e^{-\kappa(l-x)}}{\kappa} (\sin(\kappa(l-x))) V_0 \\ V_x(x) = e^{-\kappa(l-x)} (\cos(\kappa(l-x)) - \sin(\kappa(l-x))) V_0 \end{array} \right.$$

Effekten av moment eller tvärkraft vid randen blir alltså en avtagande sin/cos-funktion. Förutsättningen för att man skall kunna superponera störningen vid övre respektive undre randen var för sig är att störningarna dör ut så snabbt att de inte möts på mitten, dvs att  $\kappa l$  är tillräckligt stort.

## 2.4 Inspänningsmoment och tvärkraft vid olika randvillkor

Om cylindern är helt fri vid randen är  $M = V = 0$ .

Vid fri uppläggning gäller att  $w = M = 0$ .

Alltså uppväger förskjutningen av horisontalkraften vid inspänningen förskjutningen av lasten,  $w_l$ .

$$w_l - \frac{1}{2\kappa^3 D} V_0 = 0 \quad \Rightarrow$$

$$V_0 = 2\kappa^3 D w_l$$

Vid fast inspänd rand är  $w$  och  $w'$  noll vid randen. Ett ekvationssystem ställs upp:

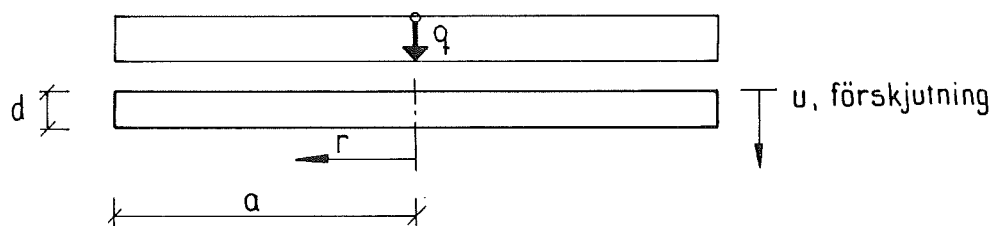
$$\begin{cases} w = 0 \\ w' = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} w_l + w_{V_0} + w_{M_0} = 0 \\ w'_l + w'_{V_0} + w'_{M_0} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} w_l - \frac{1}{2\kappa^3 D} V_0 - \frac{1}{2\kappa^2 D} M_0 = 0 \\ w'_l + \frac{1}{2\kappa^2 D} V_0 + \frac{1}{\kappa D} M_0 = 0 \end{cases}$$

Härur löses  $M_0$  och  $V_0$ .

För att beräkna inspänningsmoment och tvärkraft vid samverkan med tak måste takets verkningsätt kännas till. För fritt upplagd cirkulär platta med jämnt utbredd last gäller enligt [8]:

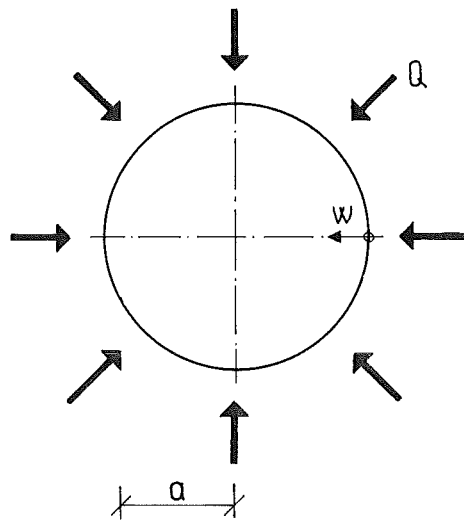


$$u = \frac{q(a^2 - r^2)}{64D} \left( \frac{5 + \nu}{1 + \nu} (a^2 - r^2) \right)$$

vilket ger:

$$\frac{du}{dr}(a) = -\frac{qa^3}{8D(1 + \nu)}$$

För linjelast i kanten på cirkulär platta gäller enligt [6]:



$$w = \frac{aQ}{Ed}(1 - \nu)$$

Ekvationen för transversellt belastad cirkulär platta enligt [8]

$$\frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{du}{dr} \right) \right] = \frac{Q}{D}$$

löses för  $Q = 0$ :

$$\frac{du}{dr} = \frac{C_1 r}{2} + \frac{C_2}{r}$$

För linjmoment i plattans kant gäller randvillkoren:

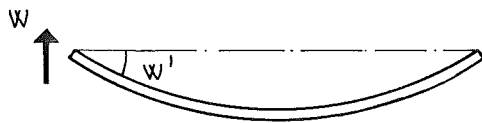
$$-D_{tak} \frac{d^2 u}{dr^2}(a) = M_0$$

$$\frac{du}{dr}(0) = 0$$

vilket ger att:

$$\frac{du}{dr}(a) = -\frac{M_0 a}{D}$$

Sammanfattningsvis gäller för takplattan:



Jämnt utbredd last:

$$w \approx 0$$

$$\frac{du}{dr}(a) = \frac{qa^3}{8D(1+\nu)}$$

Linjelast i kanten:

$$w = -\frac{Qa}{Ed}(1-\nu)$$

$$\frac{du}{dr}(a) = 0$$

Linjemoment i kanten:

$$w \approx 0$$

$$\frac{du}{dr}(a) = \frac{M_0 a}{D_{tak}}$$

För att få fram inspänningskraften sätts ett ekvationssystem upp:

$$\begin{cases} w_{cyl} = w_{tak} \\ w'_{cyl} = w'_{tak} \end{cases}$$

där:

$$w_{cyl} = w_l + w_{cyl}(M_0) + w_{cyl}(V_0)$$

$$w_{tak} = w_{tak}(M_0) + w_{tak}(V_0)$$

och  $M_0$  och  $V_0$  löses ut.

## 2.5 Töjningsskillnad och krympningsskillnad

Med resultaten från förra kapitlet kan effekterna av temperaturändring och krympning hos tak och grund enkelt fås fram. Takets resp grundens krympning,  $\epsilon$ , sätts positiv vid utvidgning av tak resp cylinder.

Töjningsskillnad vägg-grund:

Helt fri rand:

$$\begin{cases} M_0 = 0 \\ V_0 = 0 \end{cases}$$

Fritt upplagd rand:

$$\begin{cases} w_k = \epsilon a \\ w_k + w_{V_0} = 0 \\ M_0 = 0 \\ V_0 = 2\kappa^3 D \epsilon a \end{cases}$$

Ekvivalent beräkning görs i ovankanten

Fast inspänd rand:

$$\begin{cases} w_k + w(V_0) + w(M_0) = 0 \\ w'(M_0) + w'(V_0) = 0 \\ M = -2\epsilon a \kappa^2 D \\ Q = 4\epsilon a \kappa^3 D \end{cases}$$

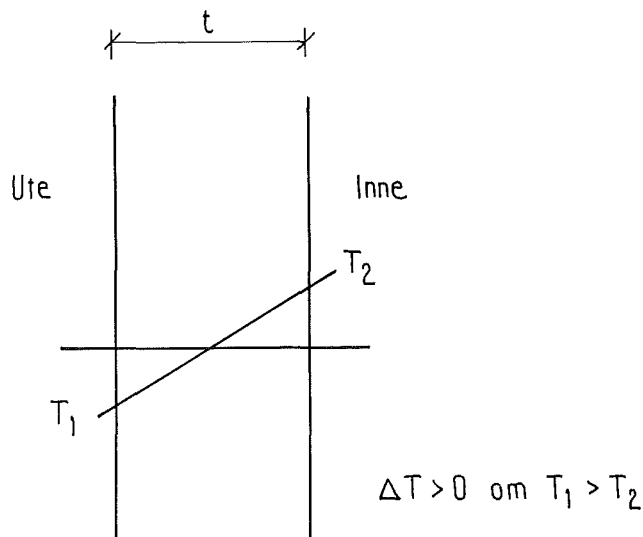
Rand inspänd i takplatta:

$$\begin{cases} w_k + w(V_0) + w(M_0) = w_{tak}(M_0) \\ w'(V_0) + w'(M_0) = w'_{tak}(V_0) + w'_{tak}(M_0) \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2\kappa^3 D} + \frac{a(1-\nu)}{E d_{tak}} & -\frac{1}{2\kappa^2 D} \\ \frac{1}{2\kappa^2 D} & -\frac{1}{\kappa D} - \frac{a}{D_{tak}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\epsilon a \\ 0 \end{bmatrix}$$

För fallet temperaturskillnad är beräkningarna helt ekvivalenta, med  $\epsilon = \alpha \Delta T$ .

## 2.6 Temperaturgradient i vägg



Långt från ränderna gäller:

$$M_x = M_y = -\frac{E\alpha\Delta T t^2}{12(1-\nu)}$$

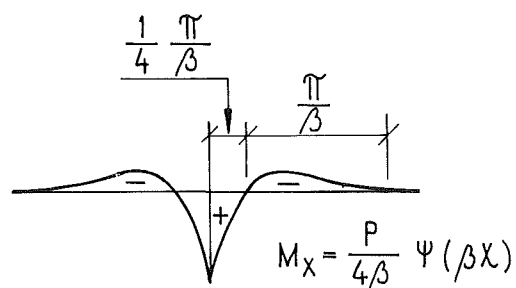
Vid fast inspänd cylinder fås inga randstörningar, men vid fri och fritt upplagd rand måste momentet vara noll. Alltså består randstörningen av ett motriktat lika stort moment vid randen:

$$M_0 = \frac{E\alpha\Delta T t^2}{12(1-\nu)}$$

## 2.7 Diskontinuerlig last

Hittills har endast laster som är kontinuerliga över hela cylindern behandlats. Om man vill räkna med diskontinuerliga laster som tex väsketryck vid delvis fylld cylinder måste man använda en annan metod. Man delar in cylindern i segment som alla har kontinuerlig last och löser för varje bit för sig böjteorins differentialekvation, (1), för aktuell last. Sedan kopplas bitarna ihop genom att bestämma konstanterna så att kontinuitet råder i skarvarna, dvs  $w$ ,  $w'$ ,  $M$  och  $V$  skall vara lika på båda sidor. Bestämningen av konstanterna resulterar i ett mycket stort och illa konditionerat ekvationssystem. Därför har vi undvikit denna metod i examensarbetet. Vi har däremot specialbehandlat

en diskontinuerlig last, den lokala tryckökningen. Influensdiagrammet för moment av linjelast runt om en oändligt lång cylinder ser ut så här enligt [8].



$$M(x) = \frac{P}{4\kappa} e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x))$$

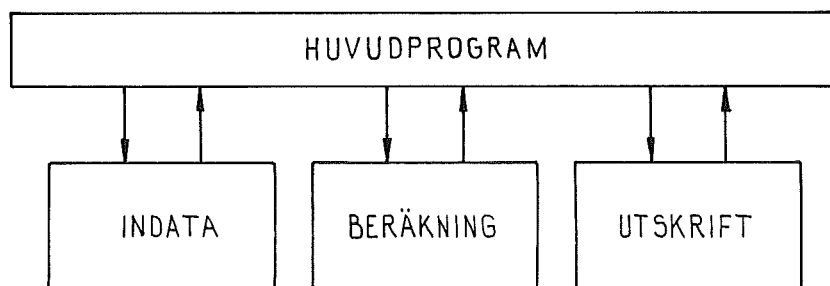
Moment i en punkt  $x$  av en utbredd last  $p(x)$  med utbredning från  $a$  till  $b$  kan då skrivas:

$$\begin{aligned} M(x) &= \int_a^b \frac{q(s)}{4\kappa} e^{-\kappa s} (\cos(\kappa s) - \sin(\kappa s)) ds \\ &\approx \frac{q(x)}{4\kappa a} \int_a^b e^{-\kappa s} (\cos(\kappa s) - \sin(\kappa s)) ds \\ &= \frac{q(x)}{4\kappa^2 a} (e^{-\kappa b} \sin(\kappa b) - e^{-\kappa a} \sin(\kappa a)) \end{aligned}$$



### 3 PROGRAMBESKRIVNING.

Programmet Silo-Lätt är utvecklat i Turbo Pascal för användning på persondator. Indata ges via konversativ inmatning från tangentbordet eller läses direkt från indatafil. Utdata fås på skärm, fil eller skrivare. Variabelnamn etc i programmet är skrivna på engelska, men mot användaren är språket svenska. Programmet utnyttjar standardenheterna dos och crt. Silo-Lätt är uppbyggt av ett huvudprogram, en deklaraionsdel för globala variabler samt moduler för behandling av indata, beräkningar och utskrifter. Här behandlas delarna var för sig.



#### 3.1 Huvudprogram

Programmet frågar om indata skall läsas från fil och skrivas på fil och om utdata skall skrivas på fil. Variablerna **Name**, **DatMatrix**, **LoadcaseMatrix**, **ActLoad** och **NrOfLoadcases** initieras genom antingen inläsning av värden från fil eller tilldelning av nollor resp förval.

- **Name** är beräkningens namn.
- **DatMatrix** innehåller större delen av indata till programmet.

- **LoadcaseMatrix** består av rader som innehåller viktskoefficienter för resp lasttyp i olika lastkombinationer.
- **ActLoad** innehåller information om vilka lasttyper som finns med i problemet.
- **NrOfLoadcases** anger antalet lastkombinationer.

Modulen för behandling av indata anropas med de initierade variablerna och tillbaka fås de aktuella värdena för beräkningen. Om indata skall sparas på fil skrivs de modifierade värdena ut på fil. Beräkningsmodulen anropas. Resultatet blir **ConstMatrix**, de konstanter som beskriver randstörningarna. Utdatamodulen anropas. Här görs beräkning för helt fri silo, randstörningar superponeras och resultatet skrivs ut på en fil. Till sist skrivs filen från utdatamodulen ut på skärm, utdatafil och skrivare, enligt indata.

## 3.2 Behandling av indata

Indatamodulen arbetar med menyer, huvudmenyer med olika alternativ samt indatamenyer där indata editeras. Först skapas menyerna, sedan flyttar man runt bland dessa tills beräkning eller avsluta väljs. Då skrivs aktuella indata ut på en fil för eventuell vidare utskrift. För menyhanteringen finns en mängd olika underprogram:

- **Textbox** färgar skärmen och ritar en ruta.
- **Keystroke** läser ett tecken från tangentbordet.
- **DrawMenu** ritar upp en meny med alternativval på skärmen.
- **DrawSubMenu** ritar upp en frågemeny inklusive aktuella variabelvärden på skärmen.
- **MarkRow** färgar om aktuellt val.
- **GetChoice** hanterar flyttningar på valmenyer och ger det valda alternativet.

- **NewValue** läser ett nytt värde eller bekräftar ett gammalt på frågemenyn.
- **NewString** läser en ny teckensträng eller bekräftar en gammal på frågemenyn.
- **GetData** hanterar inläsningen av indata på en frågemeny.
- **Loadcase** hanterar inläsningen av indata på lastkombinationsmenyn.
- **DrawSubMenuOnFile** skriver en frågemeny inklusive aktuella variabelvärden på fil.
- **WriteInputData** hanterar utskrift av indata på fil för senare utskrift tillsammans med beräkningsresultatet.
- **GetName** läser in namnet på beräkningen.

### 3.3 Beräkningar

Beräkningen av konstanterna som beskriver randstörningarna är uppdelad på tre enheter.

- **Comp-** I enheten `comp` tilldelas först alla variabler sina värden ur matrisen `DatMatrix`. Därefter går alla grundlastfall igenom och för aktuella laster beräknas konstanterna av `GetConstants`.
- **GC-** I `GC`, `GetConstants` ställs ekvationssystemet för att lösa ut konstanterna upp.
- **Solve-** Detta är en procedur ur Turbo Pascal Numerical Toolbox, som löser ekvationssystemet.

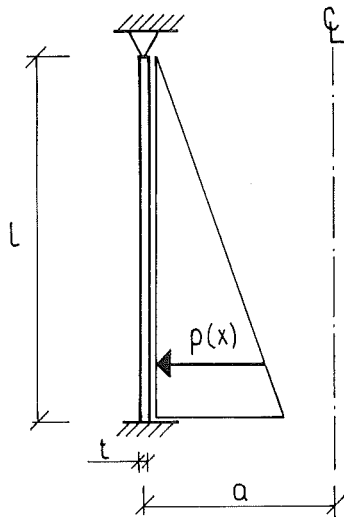
### 3.4 Utskrift

I enheten Result beräknas lösningen för helt fri cylinder, randstörningarna superponeras och resultatet skrivs ut på fil. Underprogrammen är följande:

- **Interval** räknar ut de x-värden för vilka resultatet skall redovisas.
- **Hom** ger med konstanterna som inparametrar randstörningsfunktionerna.
- **Load** beräknar lösningen för helt fri silo och lägger på resultatet från Hom.
- **Outputdata** skriver ut resultatet i de beräknade x-värdena på fil.

## 4 BERÄKNINGSEXEMPEL

För att belysa beräkningsmetodiken räknas ett exempel igenom. Beräkningen görs för en cylinder belastad med vätsketryck med randvillkoren fast inspänd i grund samt fritt upplagd vid tak. Övriga indata är:



$$\begin{aligned}l &= 20 \text{ m} \\a &= 3 \text{ m} \\t &= 0.15 \text{ m} \\E &= 25 \text{ GPa} \\ \nu &= 0.2 \\ \rho &= 1000 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Vid beräkning används membranteorin och böjteori för cirkulär cylinder. Membranteorin används för beräkning av snittstorheter för helt fri cylinder. Effekt av inspänning bestäms med böjteori och adderas till lösningen

Följande bidrag erhålles från membranteorin:

$$p(x) = \gamma(l - x) = 9.81 \cdot 10^3(20 - x)$$

$$N_x(x) = 0$$

$$N_y(x) = -\gamma a(l - x) = -2.943 \cdot 10^4(20 - x)$$

$$w(x) = \frac{\gamma a^2}{Et}(l - x) = 2.3544 \cdot 10^{-5}(20 - x)$$

$$w'(x) = -\frac{\gamma a^2}{Et} = -2.3544 \cdot 10^{-5}$$

Följande bidrag erhålles från böjteorin:

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} = 7.324 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\kappa^4 = \frac{3(1-\nu^2)}{a^2 t^2} = 14.22 \quad \Rightarrow \quad \kappa = 1.9420$$

$$w(x) = \frac{e^{-\kappa x}}{2\kappa^2 D} (-\cos(\kappa x) + \sin(\kappa x)) M_0 - \frac{1}{2D\kappa^3} e^{-\kappa x} \cos(\kappa x) V_0$$

$$w'(x) = \frac{1}{D\kappa} e^{-\kappa x} \cos(\kappa x) M + \frac{e^{-\kappa x}}{2\kappa^2 D} (\cos(\kappa x) + \sin(\kappa x)) V_0$$

$$N_x(x) = 0$$

$$N_y(x) = \kappa^2 a e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) M_0 + 2\kappa e^{-\kappa x} \cos(\kappa x) V_0$$

$$M_x(x) = e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) + \sin(\kappa x)) M_0 - \frac{1}{\kappa} e^{-\kappa x} \sin(\kappa x) V_0$$

$$M_y(x) = \nu M_x(x)$$

$$V_x(x) = -2\kappa e^{-\kappa x} \sin(\kappa x) M_0 + e^{-\kappa x} (\cos(\kappa x) - \sin(\kappa x)) V_0$$

Randvillkoren:

$$\begin{cases} w(0) = w'(0) = 0 \\ w(l) = 0 \quad M(l) = 0 \end{cases}$$

ger följande moment och tvärkraft vid ränderna.

$$\begin{bmatrix} -1.8102 \cdot 10^{-8} & -9.3214 \cdot 10^{-9} \\ 7.0307 \cdot 10^{-8} & 1.8102 \cdot 10^{-8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.7088 \cdot 10^{-4} \\ 2.3544 \cdot 10^{-5} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} M_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -25.3 \cdot 10^3 \\ 99.7 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \quad V_x(l) = 0$$

Genom insättning av dessa randstörningar fås följande resultat:

X	FÖRSKJUTNING	VINKELÄNDRING	MOMENT	TVÄRKRAFT
0.0	0	0	$-25.3 \cdot 10^3$	$99.7 \cdot 10^3$
4.0	$3.76 \cdot 10^{-4}$	$-2.28 \cdot 10^{-5}$	10.0	3.08
10.0	$2.35 \cdot 10^{-4}$	$-2.35 \cdot 10^{-5}$	0	0
16.0	$9.42 \cdot 10^{-5}$	$-2.35 \cdot 10^{-5}$	0	0
20.0	0	$-2.35 \cdot 10^{-5}$	0	0

X	RINGKRAFT	VERTIKALKRAFT	MOMENT	RINGSLED
0.0	0	0	$-5.07 \cdot 10^3$	
4.0	$471 \cdot 10^3$	0	2.01	
10.0	$294 \cdot 10^3$	0	0	
16.0	$118 \cdot 10^3$	0	0	
20.0	0	0	0	

## 5 MANUAL

Silo-Lätt arbetar med frågemenyer för indata och är i princip självinstruerande. Det kan dock vara bra att ha manualen till hands för att förstå precis hur programmet arbetar.

För att starta programmet, gå till katalogen där den exekverbara filen finns och skriv **SILO**.

### 5.1 Inledande frågor

Först kommer ett antal inledande frågor som berör eventuell inläsning från och utskrift på fil.

#### **INDATA LÄSES FRÅN FIL (1/0):**

Om indata lagrats på fil vid tidigare körning har man möjlighet att läsa in denna direkt, svara isåfall 1, annars 0.

#### **OM DATA EJ SKALL LÄSAS FRÅN FIL, SVARA 0. ANGE FILNAMN:**

Svara med namnet på filen där indata finns, filen måste finnas i den katalog du befinner dig i. Anges filnamn som inte finns kommer frågan igen. Har du glömt bort filnamnet svara 0.

#### **INDATA SKRIVES PÅ FIL (1/0):**

Om indata skall sparas på fil efter körning, svara 1, annars 0.

#### **ANGE FILNAMN:**

Svara med filnamnet, högst åtta tecken. Om denna fil redan finns kommer texten:

#### **DENNA FIL FINNS REDAN. SKRIV ÖVER FILEN (1/0):**



Svara 1 om du vill skriva över filen. Svarar du 0 får du möjlighet att ange ett nytt filnamn.

**UTDATA SKRIVES PÅ FIL (1/0):**

Om utdata skall lagras på fil skriv 1, annars 0. Detta är lämpligt om skrivare inte finns tillgänglig vid körningen, utan man vill skriva ut resultatet senare.

**ANGE FILNAMN:**

Svara med filnamnet. Om denna fil redan finns kommer texten

**DENNA FIL FINNS REDAN. SKRIV ÖVER FILEN (1/0):**

Svara 1 om du vill skriva över filen. Svarar du 0 får du möjlighet att ange ett nytt filnamn.

**NAMN PÅ BERÄKNINGEN.**

Ange namn på beräkningen med högst 30 tecken. Namnet kommer att finnas i rubriken på resultatutskriften.

## 5.2 Menyhantering

Programmets huvudmeny kommer upp på skärmen.

GEOMETRI OCH MATERIALDATA

RANDVILLKOR

GRUNDLASTFALL

LASTKOMBINATIONER

UTDATA

BERÄKNING

AVSLUTA

Med piltangenter förflyttar man sig på menyn. Välj önskat alternativ genom att trycka på **Enter**.

### 5.2.1 Geometri och materialdata

GEOMETRI OCH MATERIALDATA

SILONS HÖJD (m):

SILONS RADIE (m):

SILONS VÄGGTJOCKLEK (m):

SILONS E-MODUL (Pa):

TVÄRKONTRAKTIONSTAL:

TERMISK LÄNGDUTVIDGNINGSKOEFFICIENT:

På skärmen står antingen nollor och förvalda värden, eller värden inlästa från fil. Bekräfta givet värde genom att trycka på **Enter** eller ändra värdet genom att skriva in det nya och trycka på **Enter**. Observera att piltangenter och radertangenter ej kan användas. Endast siffror, **Enter** och **PgUp** kan användas. Då **Enter** trycks på sista värdet kommer man automatiskt tillbaka till huvudmenyn. För att återgå till huvudmenyn tidigare, tryck **PgUp**. Om tangenter som programmet ej kan acceptera trycks in står markören kvar på raden efter **Enter** och värdet måste anges på nytt. Silons E-modul avser betongens dimensionerande E-modul. Tvärkontraktionstalet kan enligt BBK 79:2:3:4 antas vara 0.2, i de flesta fall kan dock tvärkontraktionstalet sättas till 0. Enligt BBK 79:2:3:8 får den Termiska längdutvidgningskoefficienten antas vara  $1.0 \cdot 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$ .

## 5.2.2 Randvillkor

### RANDVILLKOR

#### RANDVILLKOR GRUND (1..3):

#### RANDVILLKOR TAK (1..3):

1. Fri
2. Fritt upplagd
3. Fast inspänd i grund respektive inspänd i takplatta.

Fri rand innebär att moment och tvärkraft är noll.

Fritt upplagd rand innebär att förskjutning och moment är noll.

Fast inspänd i grund innebär att förskjutning och vinkeländring är noll.

Inspänd i takplatta innebär att cylindern samverkar fullständigt med takplattan. Om inspänd i takplatta väljs kommer frågorna:

#### TAKETS TJOCKLEK (m):

#### TAKETS E-MODUL (Pa):

### 5.2.3 Grundlastfall

Här finns undermenyn

**EGENTYNGD**

**FYLLNING MED VÄTSKA**

**FYLLNING MED FRIKTIONSMATERIAL**

**SPÄNNKRAFT**

**ÖVERTRYCK**

**TEMPERATURSKILLNAD**

**KRYMPNINGSSKILLNAD**

**TAKLAST**

Här väljs de lasttyper som skall ingå i beräkningen och erforderliga indata anges.

**BETONGENS EGENTYNGD**

**BETONGENS DENSITET (kg/m<sup>3</sup>):**

Förval  $2400\text{kg/m}^3$ . Vid inspänd i takplatta räknas takplattans egentyngd in, annars räknas enbart cylindern med.

## FYLLNING MED VÄTSKA

VÄTSKANS DENSITET (kg/m<sup>3</sup>):

Vid beräkningen anses lasten vara triangulärt fördelad på hela höjden.

## FYLLNING MED FRIKTIONSMATERIAL

FYLLNINGENS DENSITET (kg/m<sup>3</sup>):

FRIKTIONSVINKEL (grader):

REDUKTIONSFAKTOR  $\alpha$ :

TRYCKÖKNING  $0.5Qh$  VID TÖMNING (1..2):

1. Ingen tryckökning.
2. Tryckökning över hela.

Silotryck räknas enligt SBN 80 K02. Indata är fyllningens densitet, karakteristiska friktionsvinkel och reduktionsfaktorn  $\alpha$  enligt SBN80 K02:43g. Vid beräkning räknas med tömningstryck  $1.5Qh$ . Därutöver kan tryckökningen  $0.5Qh$  fås över hela silons höjd. Detta ger en bra bild av den dimensionerande ringkraften. För att även erhålla en bra bild av det dimensionerande momentet, göres en separat beräkning av lokal momentökning pga lokal tryckökning. Denna beräkning är approximativ och gäller ej nära ränderna, därför räknas detta moment ej in i lastkombinationen, utan skall adderas till övriga moment.

## SPÄNNKRAFT

Beroende på fyllningsmaterial kommer något av nedanstående alternativ upp.

**% AV VÄTSKETRYCK:**

**FRIKTIONSMATERIAL, % AV  $Q_h$ :**

Spännkraften resulterar i ett negativt vätsketryck resp silotryck.

**ÖVERTRYCK**

**ÖVERTRYCK (Pa):**

Undertryck anges med negativt tecken.

**TEMPERATURSKILLNAD**

**TEMP.SKILLNAD VÄGG-TAK:**

**TEMP.SKILLNAD VÄGG-GRUND:**

**TEMP.GRADIENT I VÄGG**

Temperaturskillnaden är positiv då väggen är kallare resp väggens insida kallare.

Vid beräkning med temperaturgradient i vägg bör inte randvillkoret inspänd i takplatta väljas. Om inspänd i takplatta trots allt väljs kommer beräkningen för lastfallet temperaturgradient i vägg räknas med randvillkoret vid tak som fast inspänd.

## KRYMPNINGSSKILLNAD

KRYMPSKILLNAD VÄGG-TAK:

KRYMPSKILLNAD VÄGG-GRUND:

Krympningsskillnaden positiv då väggen krympt mest.

## TAKLAST

Vid randvillkoret inspänd i takplatta kommer frågan:

LAST PÅ TAK

LAST UTÖVER EGENTYNGD (N/m<sup>2</sup>):

Annars kommer frågan:

LINJELAST

LINJELAST PÅ SILOS ÖVERKANT (N/m):

I linjelasten skall inkluderas egentyngd från eventuellt tak.

#### 5.2.4 Lastkombinationer

Följande meny kommer upp:

**LASTKOMBINATION:**

**EGENTYNGD :**

**VÄTSKETRYCK:**

**SILOTRYCK:**

**SPÄNNKRAFT VÄTSKETRYCK:**

**SPÄNNKRAFT SILOTRYCK:**

**ÖVERTRYCK:**

**TEMPERATURSKILLNAD VÄGG-TAK:**

**TEMPERATURSKILLNAD VÄGG-GRUND:**

**TEMPERATURGRADIENT I VÄGG:**

**KRYMPNINGSSKILLNAD VÄGG-TAK:**

**KRYMPNINGSSKILLNAD VÄGG-GRUND:**

**TAKLAST:**

**LINJELAST FRÅN TAK:**

**YTTERLIGARE LASTKOMBINATIONER (1/0):**

Grundlastfall kan kombineras i upp till tio olika lastkombinationer. Här anges namn på lastkombinationen samt viktskoefficienter framför resp grundlastfall. Om ytterligare lastkombinationer önskas skriv 1, annars 0.



### 5.2.5 Utdata

Följande meny kommer upp:

**VAL AV STORHETER**  
**UTSKRIFTSINTERVALL**  
**LASTFALL**  
**UTDATAADDRESS**

Följande frågemeny kommer upp:

**VAL AV STORHETER**  
**FÖRSKJUTNING (1/0):**  
**VINKELÄNDRING (1/0):**  
**MOMENT (1/0):**  
**TVÄRKRAFT (1/0):**  
**RINGKRAFT (1/0):**  
**VERTIKALKRAFT (1/0):**  
**MOMENT I RINGSLED (1/0):**

Här väljs de storheter som skall skrivas ut genom att ange 1 om man önskar storheten utskriven, annars 0.

## **UTSKRIFTSINTERVALL**

### **UTSKRIFTSINTERVALL VID RAND:**

### **UTSKRIFTSINTERVALL ÖVRIG VÄGG:**

Alla storheter skrivs ut vid ränderna, dessutom fås utskrift av valda storheter med önskat intervall längs silon. Det är lämpligt att ange ett tätare intervall vid ränderna, eftersom storheterna varierar mer här.

## **LASTFALL**

### **GRUNDLASTFALL (1/0):**

### **LASTKOMBINATIONER (1/0):**

Väljs grundlastfall fås alla grundlastfall utskrivna.

Väljs lastkombinationer fås alla lastkombinationer utskrivna.

## **UTDATAADDRESS**

### **SKÄRM (1/0)**

### **SKRIVARE (1/0)**

Här väljs om utskrift önskas på skärm, skrivare eller bådadera. Utskrift på fil har valts tidigare. Vid utskrift på skrivare måste denna vara inkopplad och klar för utskrift.

## Referenser

- [1] Bestämmelser för betongkonstruktioner, BBK 79, Statens betongkommittée, AB Svensk Byggtjänst 1979.
- [2] Bygg 1B, AB Byggmästarens förlag, Stockholm 1972.
- [3] Ove Pettersson-Erik Plem: Bruksstadiedimensionering av skalbärverk, Institutionen för Byggnadsstatik, Lunds Tekniska Högskola, Lund 1973.
- [4] Arne Cajdert: "Partialkoefficientmetoden vid beräkning av silotryck", *Plan o Bygg 4*, 1983.
- [5] Statens Planverks Författningssamling, PFS 1980:1, Svensk Byggnorm, SBN 1980.
- [6] S.Timoshenko: Strength of Materials, PartI & PartII, D. Van Nostrand Company, New York 1947.
- [7] S.Timoshenko: Theory of Elasticity, Mc Graw-Hill Company, New York 1934.
- [8] S.Timoshenko: Theory of Plates and Shells, Mc Graw-Hill Company, New York 1940.
- [9] Turbo Pascal 4.0 owners handbook, Borland 1987.