

## **SteelCorePile.exe - beräkning av lastkapacitet för stålkärnepålar**

### **Beskrivning av beräkningsmetod och program**

#### **Allmänt**

Programmet används för att beräkna lastkapaciteten för stålkärnepålar. Beräkning sker med beaktande av inverkan av egenskaperna hos kärna, injekteringsbetong, foderrör och omgivande jord. Programmet körs under Windows XP, eller senare. Indata och beräknade data kan skrivas ut på skrivare ansluten till datorn.

Endast axiell trycklast vid påltoppen förutsätts. Den elastiska analysen begränsas till rörelser i jord och påle som inte överskrider gränsen för elastiskt beteende för stål och jord. Plasticering i jorden på det sätt som visas i Pålkommisionens Rapport 84 a ingår alltså inte i den beräkningen. Ej heller används ökningsfaktorer, relaterade till plasticering, för kärnans eller rörets momentkapacitet. Antagandena i programmet är således här på säkra sidan.

Beräkningen kan utvidgas till att innefatta plasticering i jorden. Jordmodellen är den bilinjär elastisk-plastiska modell som tillämpas i Pålkommisionens rapporter 81/84a/96:1/98, m fl.

Vidare kan värden för påltvärnsnittets normal- respektive momentkapacitet större än de som motsvarar elastiska förhållanden föras in i beräkningen av lastkapaciteten. Den ovannämnda elastiska analysen kan sägas ge ett undre gränsvärde för lastkapaciteten, medan antagande om elastiskt-plastisk beteende hos jorden tillsammans med axialkraft- och momentkapacitet som motsvarar ett genomplasticerat tvärsnitt ger lastkapacitetens övre gränsvärde.

Normalt räknas endast kärnan som axiellt bärande. Förekommande böjmoment fördelas på foderröret och kärnan. Kringgjutningen medräknas endast som komponent som bidrar till böjstyvheten (bidraget är i de flesta fall marginellt).

Beräkningen av lastkapaciteten sker med utgångspunkt från olika normer och handböcker, i första hand BRO 2004 med supplement, BSK, BBK, och BBR, samt Pålkommisionens rapporter 81, 84a, 96:1, 97 och 98. Vidare har material från handboken BYGG använts. Beräkningarna utförs med tillämpning av partialkoefficienter. Andelen lång- respektive korttidslast beaktas. För att kunna genomföra en uttömmande dimensionering av pålen krävs således kännedom om pålens lasteffekt i olika gränstillstånd och lastens fördelning tidsmässigt. I de flesta fall dimensionerar brottgränstillstånd.

Beräkningarna förutsätter de olika förhållanden som brukar antas vid påldimensionering, nämligen:

- oändligt lång spetsburen påle
- ledad, styrd infästning upptill och nedtill
- konstant bäddmodul hos jorden
- konstant böjstyvhet hos pålen
- pålen är sinusformat initialutböjd, men spänningslös, innan lasten påförs
- analys sker i ett plan (fastän pålens utböjning är i 3 dimensioner)

I verkligheten avviker förstås alltid förhållandena i olika grad från dessa antaganden. Vid påldimensionering brukar man dock trots detta utgå från dessa förutsättningar.

#### **Generell beräkningsgång**

1. Sektionsdata och materialegenskaper skrivs in i texttrutor, liksom tillämpliga partialkoefficienter.
2. Knäcklängd, gränstryck och gränsrörelse samt initialutböjning beräknas
3. Pålens lastkapacitet räknas fram genom att successivt öka tillskottsutböjningen  $y_0$ . Lastkapaciteten begränsas av någon av tre olika faktorer :
  - jordens gränsrörelse
  - kärnans hållfasthet

- rörets hållfasthet (även lokal buckling undersöks)

### Indata

I figur 1 visas beräkningsbilden för programmet. I rutor som har vit bakgrund kan data skrivas in. Beräknade data visas i blå färg. Om felaktiga indata införts, exempelvis godstjocklek mindre än noll, så ges ett felmeddelande. Den felaktiga inmatningen måste ändras innan ny beräkning kan utföras.

När önskade data införts så trycker man på knappen 'run', varvid beräknade data för aktuella indata uppdateras. Vid sidan av knappen 'run' finns en statusruta som får röd färg när ett indata ändrats. När 'run'-knappen trycks så utförs beräkningen, varefter statusrutan får grön färg. För att beräknade data skall motsvara givna indata skall alltså statusrutan ha grön färg.

Nedan ges en beskrivning och ledning för införandet av data i var och en av indata- rutorna. Val av data kommenteras med avseende på storlek, handboksuppgifter samt gällande normer och föreskrifter.

**SteelCorePile.exe ver 1.25 2006-04-06 copyright Bredenberg Teknik**

File Help About

**run** **exit**

**indata**

allmänt

säkerhetsklass: ☐ 1 ☒ 2 ☐ 3

partialkoeff Ym: 1.1

andel långtidslast (0-100%): 85

partialkoeff stål fyk Ym: 1.05

partialkoeff stål E-modul Ym: 1.11

partialkoeff btg fock Ym: 1.50

partialkoeff btg E-modul Ym: 1.20

partialkoeff cu (även kd) Ym: 1.60

**betong**

fock (MPa): 28.5

Eck (GPa): 32.0

btg area (cm2): 136.69

btg tröghetsmom (cm4): 2870.87

betong fock (MPa): 17.27

betong Eck (GPa): 24.24

**jord**

odrän skjuvhållf jord (kPa): 12.00

jord cud (kPa): 6.82

Ncu: 6.45 Mcu: 56.34

gränstryck qB (kPa): 43.98

gränsrörelse yB/d: 0.1145

gränsrörelse yB (mm): 19.27

**foderrör**

yttre-diameter (mm): 168.30

godstjocklek (mm): 4.30

fyk (MPa): 420.00

inner-diameter (mm): 159.70

täckskikt (mm): 34.85

rörarea (cm2): 22.15

rör tröghetsmoment (cm4): 745.35

rör fyk (MPa): 363.64

**kärna**

diameter (mm): 90.00

fyk (MPa): 310.00

Ek (GPa): 210.00 (även rör)

kärnarea (cm2): 63.62

kärna tröghetsmoment (cm4): 322.06

kärna fyk (MPa): 268.40

kärna Ed (GPa): 171.99 (även rör)

**påle**

krökningsradie (m): 250

pålens bäddmodul (kPa): 384.12

pålens knäcklängd (m): 4.84

geom initialutböj (mm): 11.69

fiktiv initialutböj (mm): 6.29

summa initialutböj (mm): 17.98

[ motsvarar Lk/ 269 ]

**beräknade data**

böjstyvhet, kNm2

betong EI: 320.15

rör EI: 1281.92

kärna EI: 553.92

påle EI: 2155.98

**Elastisk analys**

väll y0 (mm): 19.27

Npåle (kN): 941.62

Mrör (kNm): 12.25

Mkärna (kNm): 5.29

Mpåle (kNm): 17.54

Sigma-rör (MPa): 138.25

Sigma-kärna (MPa): 221.94

Knäcklast rak påle, kN = 1820.07

Lokal buckling för foderrör:

21150\*t/D = 569.47

[ om större än fyk för rör så o k ]

**Help**

1. Skriv in indata i vita textboxar. Tryck sen 'run'.

2. Skriv in värden i boxen y0, tryck 'run'.

3. Upprepa pkt 2 tills fyk uppnås för kärna eller rör, eller yB för jord. (även lokal buckling kan utgöra dimensionerande faktor).

**Rubrik**

Arlandabanan - Bro E546 - stålkärnepålar stöd 2

Figur .1 SteelCore.exe - Windows-program för beräkning av lastkapacitet för stålkärnepålar

1. Först väljs säkerhetsklass. Uppgifter för val av säkerhetsklass redovisas i BKR, kap 2.
2. Därefter anges andelen långtidslast för aktuell lasteffekt. Andelen kan variera mellan 0 % till 100 %. Med andel långtidslast brukar avses lastandel som verkar kontinuerligt mer än en vecka, se Pålkommisionens Rapport 96:1, kap 3.

3. Därefter anges partialkoefficienter för stålmaterialiets hållfasthet respektive E-modul. Värden redovisas i BSK, kap 3:42, Dimensionerande materialvärden. För stålets hållfasthet väljs  $Y_m=1.0$  eller  $1.1$  enligt vad som anges i BSK99. För E-modulen brukar värdet  $Y_m=1.11$  antas vid beräkningar för pålar, för att beakta inverkan av egenspanningar (ger  $E_d = 0.9 \cdot E$ ).

4. Sedan anges partialkoefficienter för betongens hållfasthet respektive E-modul. Storleken av koefficienterna framgår i BBK, kap 2.3. För hållfasthetsvärde väljs i brottgränstillstånd  $Y_m = 1.5$  respektive  $Y_m=1.2$  för E-modul.

5. Därefter väljs partialkoefficient för jordens odränerade skjuvhållfasthet. Enligt Pålkommisionens rapport 96:1, kap 3 skall samma värde även gälla bäddmodulen, kap 3.3.1. Om bäddmodulen är bestämd genom provning får lägre värde än för hållfasthet väljas. Detaljerade anvisningar för val av  $Y_m$  redovisas i BKR, kap 4:3. I brottgränstillstånd väljs  $Y_m$  inom intervallet 1.2 till 2.0, beroende på förutsättningarna.

6. Därefter anges kärnans diameter, dess karakteristiska hållfasthet  $f_{yk}$  samt dess E-modul  $E_k$ . Värden för  $f_{yk}$  för olika stålsorter och tjocklekar redovisas i BSK samt Pålkommisionens Rapport 97, kap 4. Den nominella E-modulen för stål sätts till 210 GPa. För stålaterialet kan  $f_{yk}$  variera inom intervallet 235 till 420 MPa, beroende på stålsort och dimension. Ofta föreskrivs S355 J2G3.

7. Sedan anges foderrörets ytterdiameter samt godstjocklek och hållfasthet  $f_{yk}$ . Lämpliga dimensioner för rör redovisas i Pålkommisionens Rapport 97, Stålkärnepålar. Bronormens krav för stålsorter måste beaktas i projekt för Väg- respektive Banverket. Ofta krävs då S355 MH eller S420 MH. I andra fall brukar användas S355 J2H eller S440 J2H.

8. Därefter anges betongens hållfasthet  $f_{ck}$  samt E-modul  $E_{ck}$ . Aktuella värden redovisas i BBK. Ofta förutsätts hållfasthetsklass C32/40, som motsvarar  $f_{ck}=30.5$  MPa och  $E_{ck}=33$  GPa.

9. Sedan anges det karakteristiska värdet för jordens odränerade skjuvhållfasthet  $c_{uk}$ . Värdet skall korrigeras med avseende på konflytgränsen, se Information nr 3 från SGI.

10. Till sist anges foderrörets krökningsradie  $R$ , meter. Krökningsradien  $R$  skall avse en sträcka som motsvarar pålens knäcklängd  $L_k$ , vanligen ca 2 till 6 m. Ett normalt värde är  $R = 200$  m. För mycket raka pålar brukar  $R = 500$  m antas, vilket motsvarar lätta borrhållanden och noggrann kontroll av borrhållanden.

### Beräknade data

Först beräknas rörets innerdiameter och betongskiktets (täcksiktets) tjocklek. Vägverket och Banverket kräver här minst 25 mm. Värdet måste också väljas med beaktande av förutsättningarna som påverkar monteringen av kärnan i foderröret, främst pålens längd. Dessa beräkningar presenteras i rutan för rör-data. Vidare visas här rörets beräknade tvärsnittsarea och tröghetsmoment. Röraterialets dimensionerande hållfasthet  $f_{yd}$  beräknas enligt uttrycket

$f_{yd} = f_{yk}/(Y_n Y_m)$ , med vedertagna beteckningar och ovan beskrivna förutsättningar.

Därefter beräknas uppgifter för kärnan. Beräkningarna presenteras i det fält där indata för kärnan matats in. Beräkningen av kärnans area och tröghetsmoment visas. Kärnans dimensionerande hållfasthet  $f_{yd}$  beräknas enligt uttrycket

$f_{yd} = f_{yk}/(Y_n Y_m)$

Vidare beräknas det dimensionerande värdet för kärnaterialets E-modul. Detta värde gäller för dimensionerande värde för foderrörets E-modul.

Sedan beräknas betongens area, den dimensionerande hållfastheten  $f_{cc}$  för betongen, samt det dimensionerande värdet för betongens elasticitetsmodul  $E_{cd}$ . Värdena presenteras i samma fält som används för att skriva in indata för betongen. Betongens hållfasthet används dock inte i beräkningarna.

#### **Gränstryck och gränsrörelse för jord. Lång- och korttidslast**

Därefter beräknas egenskaper för jordmaterialet kring pålen. Först beräknas dimensionerande värde för odränerad skjuvhållfasthet  $c_{ud}$  enligt uttrycket

$$c_{ud} = c_{uk} / (Y_n Y_m)$$

Sedan beräknas bärighetsfaktorn  $N_{cu}$ , som anger övre gränsen för det horisontella kontaktrycket  $q_B$  mellan påle och jord då linjärt samband mellan rörelse och spänning gäller. Gränstrycket erhålls med uttrycket

$$q_B = N_{cu} * c_{ud}.$$

I enlighet med BRO 2004 antas  $N_{cu} = 6.0$  när hela lasten är långtidslast, respektive  $N_{cu} = 9.0$  när hela lasten är korttidslast.

Modulkoefficienten  $M_{cu}$  antas för motsvarande förhållanden variera mellan 50 respektive 200. Beräkningen av  $M_{cu}$  sker med uttrycket

$$M_{cu} = 200 / (1 + 3B)$$

där

$$B = 100\% \text{ då hela lasten är långtidslast} \quad (B=1)$$

$$B = 0\% \text{ då hela lasten är korttidslast} \quad (B=0)$$

såsom rekommenderas enligt Pålkommisionens Rapport 96:1, kap 3. Gränsrörelsen  $y_B$ , som är rörelsen då kontaktrycket  $y_B$  uppnås, beräknas med uttrycket

$$y_B = D * N_{cu} / M_{cu}, \text{ där } D = \text{pålens ytterdiameter.}$$

Bärighetsfaktorn  $N_{cu}$  beräknas med uttrycket

$$N_{cu} = 9 - 3B$$

Gränsrörelsen varierar med dessa antaganden från

$$y_B = D * 6 / 50 = 0.12D \text{ för } B = 100\% \text{ (all last långtidslast)}$$

till

$$y_B = D * 9 / 200 = 0.045D \text{ för } B = 0\% \text{ (all last korttidslast).}$$

Mellanliggande värden för  $B$  kan anges i programmet, t ex  $B = 20$ , som innebär att 20 % av lasten utgörs av långtidslast.

Alla nämnda beräknade värden för jorden presenteras i samma fält som används för inmatning av den odränerade skjuvhållfastheten för jorden.

#### **Knäcklängd**

För pålen beräknas sedan pålens knäcklängd enligt uttrycket

$$L_k = \pi * (EI / kD)^{0.25}$$

där

$\pi = 3.1416...$

EI = pålens böjstyvhetsmoment

kD = pålens bäddmodul

D = foderrörets ytterdiameter.

Dimensionerande värden används, se Pålkommisionens Rapport 84a. Pålens bäddmodul beräknas enligt uttrycket

$kD = M_{cu} \cdot c_{ud}$ .

### **Initialutböjning**

Därefter beräknas en geometrisk initialutböjning DELTAG, som motsvarar den angivna krökningsradien R enligt uttrycket

$DELTA_G = L_k^2 / (8 \cdot R)$

Enligt Pålkommisionens Rapport 96:1 skall detta värde multipliceras med en partialkoefficient = 2.0 i det fall rakhetsmätning inte utförs. Utförs rakhetsmätning så rekommenderas istället värdet 1.0. Eftersom rakhetsmätning normalt alltid utförs för stålkärnepålars foderrör (tolkning) förutsätts antas i programmet att denna partialkoefficient är 1.0.

Skulle inte detta vara tillämpligt kan värdet på krökningsradien R ändras så att önskat värde för DELTAG erhålls. Detta förfarande kan också tillämpas i de fall initialkrokigheten mäts upp direkt med inklinometer, eller liknande. Notera att initialutböjningen ska mätas för pålens knäcklängd, d v s längden  $L_k$ .

Därefter beräknas en fiktiv initialutböjning, DELTAF, som avser beakta egenspanningar. För pålen antas egenspanningsgrupp 2, vilket enligt BYGG K 18:56 innebär

$DELTA_F = 0.0013 L_k$ , där  $L_k$  = pålens knäcklängd.

Den totala initialutböjningen DELTA antas motsvara summan av den geometriska och den fiktiva initialutböjningen, d v s

$DELTA = DELTA_G + DELTA_F$

Initialutböjningen antas motsvara en sinuskurva med perioden  $L_k$  och den största amplituden DELTA "mitt på" längden  $L_k$ . Genom detta antagande förenklas beräkningarna. Även för konstaterat andra former av initialutböjning än en sinusfunktion brukar därför beräkningarna ske under antagande av en sinusformad utböjning. Notera att beräkningen av DELTAG ovan förutsätter en cirkelformad utböjning, beräknad med kordasatsen.

Som nämnts antas den initiala utböjningen inte ge upphov till några spänningar i pålen eller den omgivande jorden. I Pålkommisionens Rapport 81 ges motiv för detta antagande.

### **Beräkning av pålens böjstyvhetsmoment**

Vid beräkning av påltvärsnittets böjstyvhetsmoment adderas bidrag från röret, betongen och kärnan, se Pålkommisionens Rapport 96:1, 3.8.2. Resultatet av beräkningen av böjstyvhetsmomentet visas i fältet 'böjstyvhetsmoment'. Beräkning för korttidsförhållanden  $B=0$  % utförs enligt EC4,4.8.3.5, som anger uttrycket för det elastiska böjmotståndet (EI)<sub>e</sub> motsvarande :

$(EI)_e = E_{sd} \cdot (I_{rör} + I_{kärna}) + 0.8 \cdot (E_{cd} I_{btg})$ ,

där

$E_{sd}$  = stålets dimensionerande E-modul.

För långtidsförhållanden  $B=100\%$  sätts, med hänvisning till BBK, 3.4.2.2, betongens bidrag till  $0.4 \cdot (E_{cd} I_{btg})$ , vilket motsvarar det effektiva kryptalet 1.0. Detta motiveras av betongens inneslutning i foderröret, samt den mycket fuktiga miljö pålar vanligen installeras i. För värden mellan  $B=100\%$  och  $B=0\%$  antas rätlinjig variation. Det kan nämnas att betongens bidrag till böjstyvheten för en stålkärnepåle endast brukar vara ca  $10\%$ , varför inverkan av krypning i betongen inte brukar ha någon nämnvärd inverkan på beräkningsresultatet. Dessutom är knäcklängden en funktion av 4:e roten av böjstyvheten  $EI$ , vilket ytterligare minskar nämnda inverkan.

### **Beräkning av lastkapacitet**

Elastiska förhållanden förutsätts för kärna, foderrör och jord. All axiell last antas upptagen av kärnan, se Pålkommisionens Rapport 96:1, 3.8.2. Uppkommande böjmoment fördelas på kärna och foderrör i proportion till respektive dels böjstyvhet, se Pålkommisionens Rapport 96:1, 3.8.2.

Motivet till denna fördelning är att kärna och rör antas ha samma krökningsradie  $R$ . Böjmomentet antas proportionellt mot böjstyvheten  $EI$  på det sätt som anges av elastiska linjens ekvation, d v s

$$1/R = M/EI$$

som ger

$$M = EI/R$$

Pålens tillskottsutböjning  $y_0$  anges som indata. Denna tillskottsutböjning utgör, som nämnts, värdet "mitt på" knäcklängden  $L_k$ . Den totala utböjningen  $Y$  där blir därför

$$Y = \Delta + y_0.$$

Böjmomentet i pålen mitt på knäcklängden  $L_k$  beräknas enligt uttrycket

$$M = N \cdot (\Delta + y_0) / 2$$

där  $N$  = aktuell axiell kraft i pålen.

Härledningen av uttrycket för momentet visas i Pålkommisionens Rapport 81.

Böjmoment fördelas i programmet på kärna och rör i proportion till böjstyvheter, d v s

$$M_{kärna} = M \cdot EI_{kärna} / (EI_{kärna} + EI_{rör})$$

$$M_{rör} = M \cdot EI_{rör} / (EI_{kärna} + EI_{rör})$$

Betongen antas således inte ta upp någon axialkraft, ej heller böjmoment.

Axialkraften  $N$  i pålen beräknas enligt uttrycket

$$N = [\pi^2 EI / L_k^2 + k D L_k^2 / \pi^2] y_0 / (\Delta + y_0)$$

som är ekvivalent med

$$N = F_0 y_0 / (\Delta + y_0)$$

$$\text{där } F_0 = 2 \cdot (EI_k D)^{0.5}$$

se BYGG 1A, 15:361, ekv 11. Man kan alltså se kraften i pålen som bestående av två delar : en del som erhålls från Eulers 2:a knäckfall med knäcklängden  $L_k$  som strävans längd, samt en del som beror av pålens bäddmodul  $k_D$ . Den sammanlagda kraften justeras sedan med faktorn  $y_0/(DELTA+y_0)$ , för att ta hänsyn till initialutböjningen  $DELTA$ . Användandet av denna förstoringsfaktor kräver att initialutböjningen utgörs av en sinuskurva. Värdet  $F_0$  motsvarar en matematiskt rak påle och är det klassiska uttrycket för en påles knäcklast (Forsell 1926).

Denna beräkning utförs med ökande tillskottsutböjning  $y_0$  tills dimensionerande hållfasthet uppnås i jord, kärna eller jord.

#### **När stålets hållfasthet dimensionerar**

Spänningen i kärnan beräknas som summan av bidrag från normalkraft och böjmoment,  $d$  v  $s$

$$SIGMA_{kärna} = N/AREAKärna + M_{kärna} * DIAMETER_{kärna} / (2 * I_{kärna})$$

För röret räknas med enbart inverkan av böjande moment,  $d$  v  $s$

$$SIGMA_{rör} = M_{rör} * YTTERDIAMETER_{rör} / (2 * I_{rör})$$

Dessa värden jämförs sedan med den dimensionerande hållfastheten  $f_{yd}$  för kärna respektive rör. Om  $f_{yd}$  uppnås i någondera så anses pålens lastkapacitet uppnådd.

#### **När jordens hållfasthet dimensionerar**

För jorden gäller att maximal kontaktspänning som motsvarar elastiska förhållanden motsvarar gränsrörelsens  $y_B$ :s storlek. Detta är således det största värde som kan sättas in i indata-rutan för tillskottsutböjningen  $y_0$ .

I vissa fall finner man att jordens gränstryck uppnås innan spänningen i röret eller kärnan når sitt dimensionerande värde  $f_{yd}$ . Antagna dimensioner för rör eller kärna kan då beräkningsmässigt minskas. Teoretiskt kan man optimera dimensioner för rör och kärna så att dimensionerande värden uppnås samtidigt för både jord, kärna och rör. I praktiken gäller dock att produktionsförutsättningarna i hög grad begränsar möjliga val av dimensioner. Antalet tillgängliga val av rör är exempelvis begränsat.

#### **Kontroll, knäcklastens maximala värde**

Som kontroll beräknas i programmet den övre gränsen för knäcklastens storlek,  $F_0$ , vilket motsvarar pålen utan initialutböjning. Värdet blir givetvis större än för pålen för med initialutböjning.

#### **Kontroll av rörets benägenhet till lokal buckling**

Det sista beräknade värdet avser risken för lokal buckling av röret. Frågan om lokal buckling är berättigad med tanke på att avrostade foderrör kan få mycket liten tjocklek. Å andra sidan antas röret inte belastat av axialkraft, varför beräkningen av bucklingskriteriet mer bör betraktas som vägledande vid val av rördimensioner. Bucklor antas styrda utåt från rörets yttersta yta räknat, beroende på den invändiga betongen och kärnan inne i röret.

Uppkomsten av lokala bucklor för axiellt belastade rör kan undersökas med hjälp av kriteriet

$$f_{yk} \leq 21150 * t / (D - 2t)$$

där

$D$  = foderrörets ytterdiameter

$t$  = kvarvarande godstjocklek

$f_{yk}$  = karakteristisk hållfasthet för foderröret, MPa.

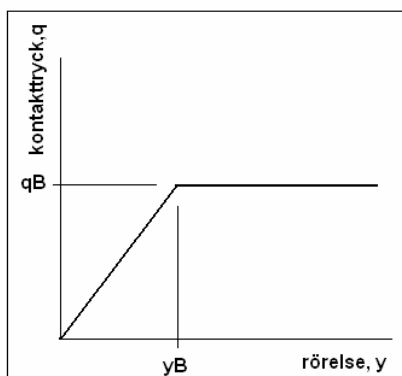
Kriteriet anges i ENV 1994-1-1:1992 samt Pålkommissionens Rapport 98. Uttrycket avser ett axiellt belastat betongfyllt stålrör.

Enligt Bronormen gäller att minsta kvarvarande tjocklek hos foderröret efter avrostning skall vara 2 mm. För vissa kombinationer av diameter och avrostade rörtjocklekar kan kriteriet ange risk för lokal buckling.

För att underlätta tolkningen av beräknade data så skrivs beräknade kriterier som är mindre än fyk med röd text, annars blå text.

### Analys med antagande av elastisk-plastisk respons hos jorden

Ovan beskrivna 'elastiska' analys gäller så länge som kontaktrycket mellan påle och jord inte överskrider gränstrycket  $q_B$ . I Pålkommisionens rapporter 81/84a/96:1 och 98 redovisas metoder för att utvidga analysen till att omfatta elastiskt- plastiskt beteende hos jorden, se figur 2.



Figur 2. Linjärt elastiskt-plastiskt beteende hos jorden./Pålkommisionen/.

Genom att markera check-boxen i den övre ramen på beräkningssidan i SteelCore.exe kan analysen ske med jordmodellen i figur 2. Pålens kapacitet beräknas då enligt interaktionsuttrycket

$$N/N_{kap} + M/M_{kap} \leq 1 \quad \text{..... ekv (1)}$$

där

$N$  = axialkraft

$N_{kap}$  = axialkapacitet ( normalt =  $Area_{kärna} \cdot f_{yd,kärna}$ )

$M$  = böjmoment =  $N \cdot e$

$e = 0.5 \cdot (y_0 + \Delta)$

$M_{kap}$  = momentkapacitet (normalt =  $W_{kärna} \cdot f_{yd,kärna} + W_{rör} \cdot f_{yd,rör}$ )

Dessa värden skrivs in i datafälten under grafen när 'run' trycks. När 'Rita Graf' sedan trycks så ritas grafen upp för de värden som finns i datafälten. Sambandet enligt ekv (1) visas med blå färg.

Böjmomentet är lokaliserat till 'mitt på' pålens knäcklängd  $L_k$ , d v s den punkt där värdet  $y_0$  för tillskottsutböjningen uppkommer.

Beräkningen av jordresponsen sker enligt Rapport 84a, alternativet virtuellt arbete. När gränstrycket (gränsrörelsen  $y_B$ ) överskrids så beräknas en fiktiv bäddmodul för pålen. Detta leder till att pålens knäcklast får ett max-värde, se figur 3. Detta värde jämte tillhörande rörelse skrivs ut med röd färg i grafen.

### Plasticerat påltvärsnitt

Om man vill utföra beräkningen för andra värden för  $N_{kap}$  och  $M_{kap}$ , exempelvis för att beakta axiell kapacitet utöver den som motsvarar kärnan och böjmomentkapacitet som motsvarar högre utnyttjande än det som motsvarar elasticitetsteori, så kan de förhöjda värdena skrivas in i respektive datafält. För det



mesta brukar denna möjlighet användas för att öka böjmomentkapaciteten 25 %, i enlighet med föreskriften begräsning av sådan ökning i BSK.

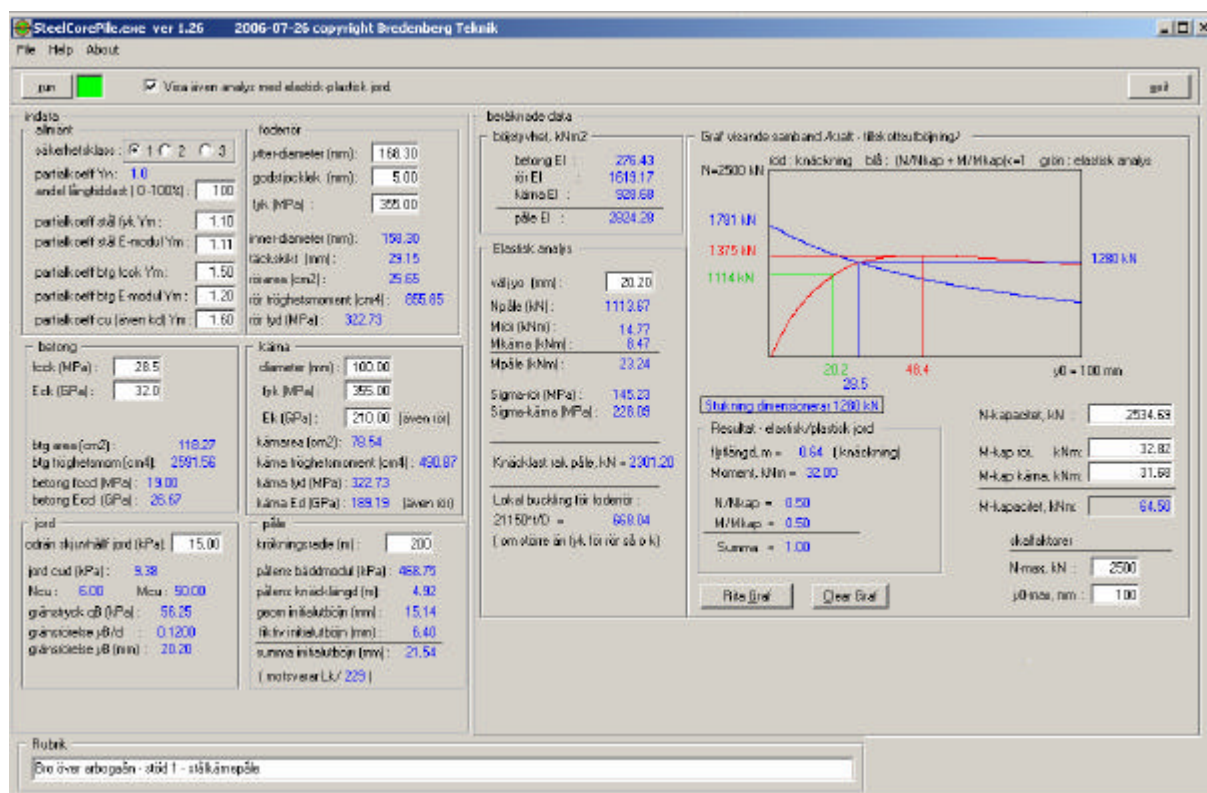
Utförda böjförök på sammansatta rör-kärna-sektioner visar dock att större ökning än 25 % kan påräknas, upp till ca 2 till 3 ggr har uppmätts.

Ekv (1) kan omformas till

$$N = (N_{kap} * M_{kap}) / (M_{kap} + e * N_{kap}) \quad \dots (2)$$

med beteckningar enligt ovan. Motsvarande samband N som funktion av y0 visas med blå färg i grafen.

Resultatet från den elastiska analysen visas med grön färg i grafen.



Figur 3. Beräkning med elastisk-plastisk jordrespons

Två fall kan förekomma:

1. Knäcklastens max-värde ligger **under** N(y0), den blå kurvan. Då är det dimensionerande värdet för lastkapaciteten lika med knäcklastens värde. Knäcklastens värde Nk beräknas enligt uttrycket

$$N_k = 2 * (EI * kD)^{0.5} * (y_0 / y_0 + \Delta) \quad \dots (3)$$

med beteckningar enligt ovan. Notera att denna knäcklast är större än den som motsvarar yB enligt den elastiska analysen. Skillnaden motsvarar inverkan av beaktande av jordens plasticering. Skulle värdet på tillskottsutböjningen y0 sättas in i den elastiska analysen så erhålls förstås ett större värde för knäcklasten än det som motsvarar att jorden flyter.

2. Knäcklastens max-värde ligger **över**  $N(y_0)$ , den blå kurvan. Den blå kurvan anger hur axialkraften  $N$  varierar med tillskottsutböjningen  $y_0$  enligt ekv (1). Pålens kapacitet kan inte bli större än den som motsvaras av ekv (2) ovan, men samtidigt kan inte knäcklasten för ett givet värde för  $y_0$  bli större än värdet motsvarande ekv (3) ovan.

I detta fall är det därför den första skärningspunkten mellan den blå och den röda kurvan som anger pålens lastkapacitet. Motsvarande rörelse skrivs ut i grafen.

-----

Lägsta värdet av knäckning (röd) och interaktion enligt ekv 1 (blå) utgör lastkapaciteten. Vilket av värdena stukning respektive knäckning som ger den lägsta lastkapaciteten skrivs ut i en resultatruta tillsammans med lastkapacitetens dimensionerande värde. I de flesta fall är fall 2 dimensionerande.

Kapaciteten som motsvarar elastisk analys visas som nämnts i grön färg i grafen.

---

### Copyright

Rätten till återgivning av material i detta dokument skyddas av lagen om upphovsrätt. Otillåten användning kan påtalas och leda till skadeståndsanspråk.