SPORKURVER.

Sporkurver i jernbanespor udføres normalt som cirkelbuer, idet der dog mellem den retlinede strækning og cirklen som regel indlægges en overgangskurve.

Krumningsforholdene angives næsten altid som kurveradius R, der måles i meter.

I England måles kurveradius dog i "chains". 1 chain = 66 fod = 20,116 m.

I U.S.A. angives krumningsforholdene i grademål. En kurve på 1 grad defineres som en cirkel, i hvilken en bue på 1 grad har en længde på 100 fod. Radius i en kurve på 1 grad er da:

$$\frac{100 \cdot 360}{2\pi} = 5730 \text{ fod} = 1746 \text{ m.}$$

Angående den mindste tilladelige kurveradius for hovedspor henvises til side 1 og for sidespor henvises til "Moderne jernbanestationer", side 165. I kurver lægges sporet normalt med overhøjde.

I. Fuld overhøjde.

Kurveradius = R m. Hastigheden = v m/sek. sinα sættes lig tgα. Af fig.3 fås, når centrifugalkraften helt skal afbalanceres:

$$\text{overhøjden: } h = s \text{ tg}\alpha = s \cdot \frac{m \quad v^2}{R \cdot m \cdot g} =$$

$$1500 \cdot \frac{v^2}{R \cdot 9,81} = 153 \frac{v^2}{R} \text{mm.}$$

Såfremt V regnes i km/t, fås fuld overhøjde

$$h = 153 \cdot \frac{V^2}{3,6^2 R} = 11,8 \cdot \frac{V^2}{R} \text{ mm.}$$

Normalt regnes dog med: $h = 8\frac{V^2}{R}$.

II. Uafbalanceret sideaccelaration $p < 0{,}6$ m/sek^2.

a. Hvis der ikke er fuld overhøjde, fås den uafbalancerede sideacceleration:

$$p = \frac{V^2}{3{,}6^2 R} - g\,\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{V^2}{13\ R} - g \circ \frac{h}{s} = \frac{V^2}{13\ R} - \frac{9{,}81 \circ h}{1500}$$

$$= \frac{V^2}{13\ R} - \frac{h}{153}$$

Af denne ligning fås:

$$h = \frac{11{,}8\ V^2}{R} - 153\ p\ \text{mm}$$

b. Mindste tilladelige overhøjde.

Den uafbalancerede sideacceleration må højst være $p = 0{,}6$, altså skal overhøjden mindst være:

$$h = \frac{11{,}8\ V^2}{R} - 153 \circ 0{,}6\ \text{mm} =$$

$$\frac{11{,}8\ V^2}{R} - 90\ \text{mm}$$

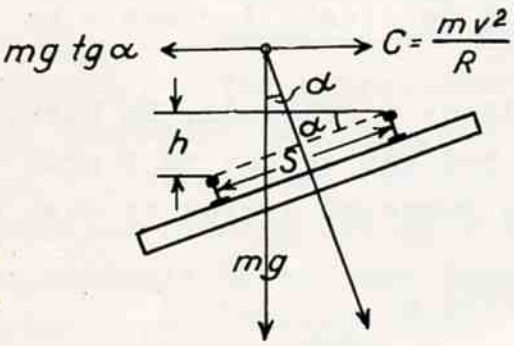

Fig.3: Beregning af overhøjde.

c. Hastigheden V ved overhøjde 0.

$$0{,}6 = \frac{V^2}{13\ R},\quad V = \sqrt{13 \circ 0{,}6 \circ R}$$

$$= 2{,}8 \circ \sqrt{R}\ \text{km/t}$$

d. Hastigheden V ved overhøjde $\frac{1}{10} \sim 15$ cm.

Den største overhøjde, der kan tillades - under hensyn til, at det kan ske, at et tog kommer til at holde stille i kurven - er 150 mm svarende til en sidehældning på 1:10. (Ved perroner anvendes helst ikke mere end 60 og højst 100 mm overhøjde).

$$0{,}6 = \frac{V^2}{13\ R} - 9{,}8 \circ \frac{1}{10},\quad V = \sqrt{13 \circ 1{,}6 \circ R} = 4{,}5\sqrt{R}\ \text{km/t}$$

III. Overhøjderamper.

a. Rampelængden (7).

Imellem et retlinet spor med overhøjde 0 og en kurve med overhøjde h indlægges en overhøjderampe (se fig. 5 side 14). Der fremkommer derved et "knæk" i den ydre skinnes længdeprofil. Når en vogn kører ind på rampen, vil dens udvendige fjedre sammentrykkes og derefter komme i svingninger. Det største svingningsudslag Δ er proportionalt med vognens hastighed V (km/t) og rampestigningen s (‰):

$$\Delta = k \cdot V \cdot \frac{s}{1000} \text{ cm}$$

Forsøg har vist, at konstanten k er lig 5, og at største tilladelige udslag er 0,5 cm. Man får herefter:

$$s = \frac{0{,}5 \cdot 1000}{5 \cdot V} = \frac{100}{V} \text{ ‰},$$

hvoraf rampelængden kan beregnes, når overhøjden h er kendt.

Såfremt rampen udføres s-formet (se nedenfor), vil vognfjedrene ikke komme i svingninger. Rampestigningen begrænses i dette tilfælde af hensynet til, at vinklen mellem en vogns 2 aksler ikke må overskride en vis størrelse, altså af at akslernes vridning i forhold til hinanden skal holdes indenfor visse grænser. Praksis har vist, at rampestigningen af denne grund ikke må overstige 2,5 ‰. (8)

b. Krydsende overhøjderamper ved slangekurver.

Ved slangekurver anvendes såkaldte "krydsende overhøjderamper" som vist på fig. 4. Det ses, at man lader overhøjderamperne med stigning s ‰ beregnet af ovenstående udtryk støde sammen. Ramperne udføres imidlertid krydsende således, at rampestigningen i forhold til det oprindelige spor kun bliver ca. halvt så stor som beregnet, medens rampernes indbyrdes stigning bliver ca. den oprindeligt beregnede. Man opnår herved, at det ovennævnte

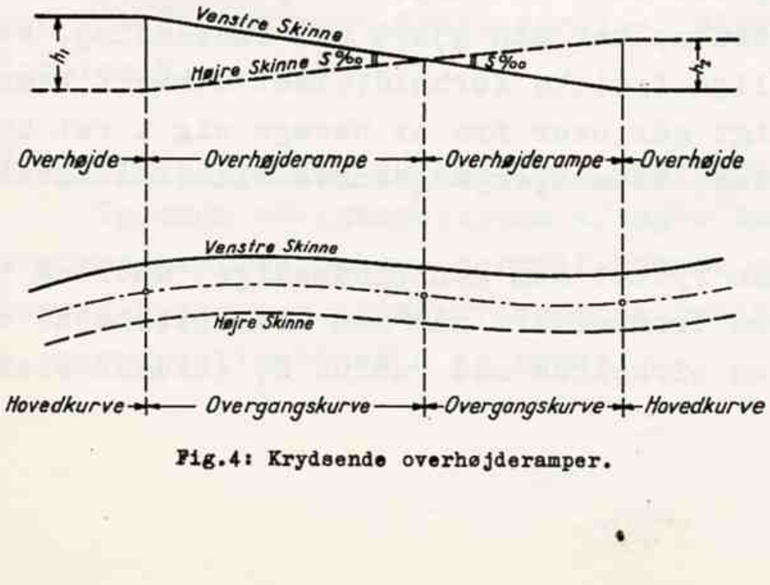

Fig.4: Krydsende overhøjderamper.

"knæk" i den ydre skinnes længdeprofil kun bliver "halvt" så stort som hvis overhøjderamperne udførtes "ikke krydsende".

IV.

a. Ryk $\psi = \frac{p}{t} < 0,85$ m/sek^3 (9) (Oprindelig definition, anvendt i D.S.B.'s sporregler 1946).

Den "hastighed", hvormed den uafbalancerede sideacceleration ændres ved kørsel fra ret bane til kurve, betegnes:

$$\text{"Rykket"} = \psi = \frac{p}{t}$$

hvor t er tiden, det tager at køre gennem overgangskurven. Såfremt der er fuld overhøjde, og overhøjden i hvert enkelt punkt af overgangskurven svarer til radius i punktet, bliver sideaccelerationen $p = 0$ og altså $\psi = 0$.

Beregning af rykket har særlig betydning i kurver uden overhøjde og overgangskurve. I så tilfælde har man fundet på at fastsætte t som tiden, det tager, fra den forreste boggie i vognen passerer tangentpunktet til bageste boggie passerer tangentpunktet. Idet boggiecenterafstanden betegnes a, får man:

$$t = \frac{a \cdot 3,6}{V},\ \psi = \frac{p \cdot V}{3,6 \cdot a} = \frac{V^2 \cdot V}{13 \cdot R \cdot 3,6a} =$$

$$\frac{V^3}{46,8 \cdot R \cdot a},\quad V = 3,6\ \sqrt[3]{\psi \cdot a \cdot R}\ \text{km/t}$$

Indsættes $\psi = 0,85$ m/sek.^{3} og $a = 15$ m,

fås: $V = 8,5\ \sqrt[3]{R}$

b. Ryk $\Delta p < 0,6$ m/sek^2. (Ny definition) (10).

Mod den under IV a gjorte forudsætning, at rykket fremkommer "over" boggiecenterafstanden a, har man gjort den indvending, at den ikke stemmer med de virkelige fysiske forhold, idet ethvert tværsnit af vognen faktisk pludseligt går over fra at bevæge sig i ret bane til at bevæge sig i en cirkelbue. Uden overgangskurve bliver t altså nul og dermed $\psi = \infty$.

I stedet definerer man rykket som den pludselige "ændring i sideacceleration" $= \Delta p$, som fremkommer, når man uden overhøjde og overgangskurve kører fra en cirkelbue med radius R_1 (sideacceleration: p_1) til en cirkelbue med radius R_2 (sideacceleration p_2), idet der regnes med fortegn, eftersom buernes centrum ligger til samme eller modsat side, altså:

$$\Delta p = p_1 \pm p_2 = \frac{V^2}{13} \cdot \left(\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right) \text{ jfr. II c.}$$

såfremt $R_2 = \infty$ får man:

$$\Delta p = 0{,}6 = \frac{V^2}{13\ R_1} \text{ og } V = 2{,}8\sqrt{R_1}$$

og såfremt $R_1 = R_2$ (slangekurver), får man:

$$\Delta p = 0{,}6 = \frac{V^2}{2 \cdot 13\ R_1} \quad \text{og } V = 2{,}8\sqrt{\frac{R_1}{2}}$$

Hastighedsbestemmelsen efter sidste ligning forudsætter, at tangentpunkterne falder sammen. Man kan nu spørge, hvor langt skal det rette stykke z mellem tangentpunkterne være, for at man kan tillade sig at bestemme hastigheden af ligningen $V = 2{,}8\sqrt{R_1}$. Det har vist sig, at når tiden, der går mellem de to ryk til hver sin side, er mindre end 0,7 sek., føles de som to enkelte ryk og ikke som eet stærkt ryk. Tiden t det tager at køre gennem længden z med hastigheden V fås således:

$$t = 3{,}6 \cdot \frac{z}{V} = 0{,}7 \text{ eller}$$

$$z = \frac{V}{5}$$

Altså når $z > \frac{V}{5}$, kan man beregne hastigheden af: $V = 2{,}8\sqrt{R}$. For lavere værdier af z beregnes maksimalhastigheden af ligningen $V = 5z$, såfremt denne værdi er større end den, der fås af formlen $V = 2{,}8\sqrt{\frac{R}{2}}$.

V. <u>Overgangskurve med retlinet overhøjderampe: 3' grads parabel.</u>

Igennem overgangskurven aftager kurveradius fra ∞ til R. Overgangskurven falder normalt sammen med overhøjderampen, og herved bestemmes altså overgangskurvelængden L, når overhøjden h og rampestigningen s er kendt.

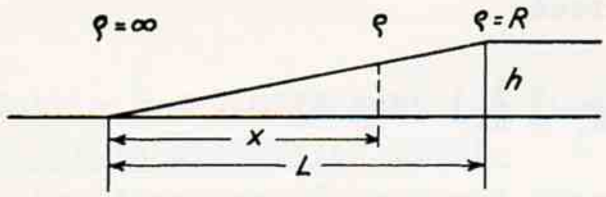

Fig.5: Retliniet overhøjderampe.

For $x = 0$ er $\rho = \infty$ og
for $x = L$ er $\rho = R$.
Man får med tilnærmelse:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{C}, \quad \frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2C} \text{ og}$$

$$y = \frac{x^3}{6\,C}$$

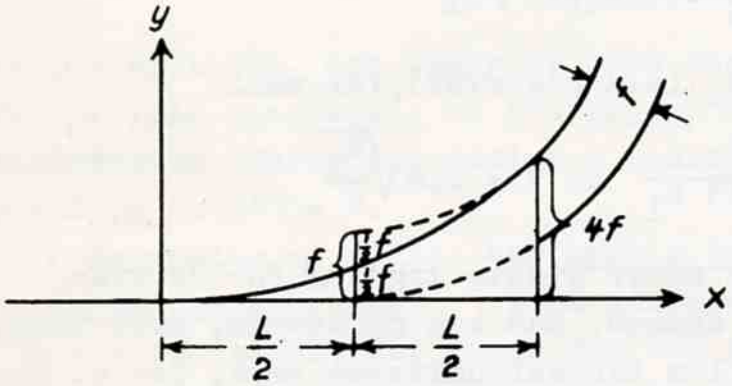

Fig.6: Overgangskurve.

C bestemmes således:

$$\frac{1}{R} = \frac{L}{C}, \qquad C = R \cdot L \text{ og altså}$$

$$y = \frac{x^3}{6 \cdot R \cdot L}$$

Overgangskurven anbringes symmetrisk omkring det oprindelige tangentpunkt. (Slg. A. Schneider og N. Thorkil Jensen i Landmåling II, side 57). Den oprindelige kurve gives indrykningen f. Det fastsættes, at indrykningen i det oprindelige tangentpunkt skal være $\frac{f}{2}$, altså $x = \frac{L}{2}$, $y = \frac{f}{2}$. Heraf fås:

$$\frac{f}{2} = \frac{L^3}{6 \cdot 8 \cdot R \cdot L}$$

$$\text{eller } f = \frac{L^2}{24\,R}$$

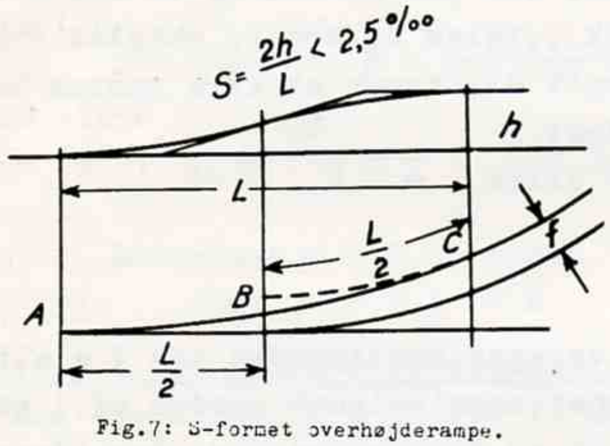

Fig.7: S-formet overhøjderampe.

VI. <u>Overgangskurve med s-formet overhøjderampe: 4. grads parabel.</u>

For at undgå stor indrykning eller for at opnå kortere overgangskurve kan overhøjderampen udføres s-formet. Beviset for, at den hertil svarende overgangskurve bliver en 4' grads parabel, skal ikke gives (11), men det skal oplyses, at hele indrykningen er halvt så stor som ved 3' grads-parablen, og at indrykningen i det oprindelige tangentpunkt også er halvt så stor som ved 3' grads-parablen. Går man ud herfra, kan 4' grads-parablens ligning fås således:

$$y = \frac{x^4}{K}$$

For: $x = \frac{L}{2}$ er $y = \frac{L^2}{2 \cdot 2 \cdot 24 \cdot R}$, man får da:

$$K = 6R \cdot L^2 \text{ og}$$

$$y = \frac{x^4}{6R \cdot L^2}$$

Strækningen A-B af overgangskurven afsættes fra tangenten, medens strækningen B-C afsættes fra den indrykkede hovedkurve, (Fig.7).

Angående afsætning af en overgangskurve mellem to cirkelbuer henvises til A.Schneider og N.Thorkil Jensen: Landmåling II, side 63.

I sporvejsspor i gader anvendes-bl.a. under hensyn til den mindre hastighed - betydeligt mindre radier end i jernbanespor. Man går således sjældent over R = 100 m, medmindre forholdene særlig indbyder dertil, og den mindste radius, der anvendes, er ved Københavns Sporveje 16,5 m, undtagelsesvis 15 m. (Se også: Moderne jernbanestationer side 166). Man tilstræber at lægge sporet med overhøjde i kurverne. Overhøjden må bestemmes under hensyn til udformningen af hele gadeprofilet. Københavns sporveje anvender overgangskurver af længderne 2-14 m. Til en radius på 16,5 m anvendes helst en overgangskurve på 14 m, men det er ikke altid, at pladsforholdene i gaden tillader en så stor indrykning, som svarer hertil. Til større radier anser man kortere overgangskurver for tilstrækkelige. For at lette værkstedsarbejdet deles overgangskurven i et antal cirkelbuer à 2000 mm målt i inderkurven (se fig. 8), og disses radier kan beregnes af formlen $\rho = \frac{R \cdot L}{x}$ (se side 14). En tegning visende sporarrangementet i kurven og forsynet med alle de for fabrikationen nødvendige mål benævnes et "kurvebånd".

Såfremt et dobbeltspors to spor ligger i kurve, må afstanden mellem de to spor i kurven bestemmes således, at der mellem de to "farligste" vogne bliver en afstand på mindst 15 cm ved passagen gennem kurverne. Sporvejene har ikke så detaillerede fritrumsprofiler (se side 17) som jernbanerne, således at man i hvert enkelt tilfælde må tegne kurverne op og indtegne vognene i forskellige stillinger for derved at bestemme sporafstanden.

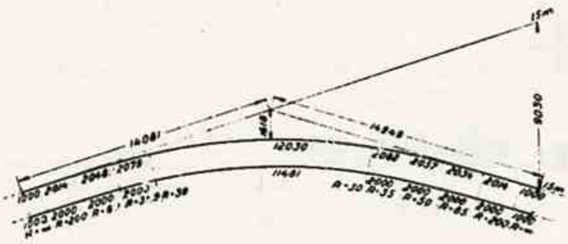

Fig.8: Kurvebånd for sporvejsspor.