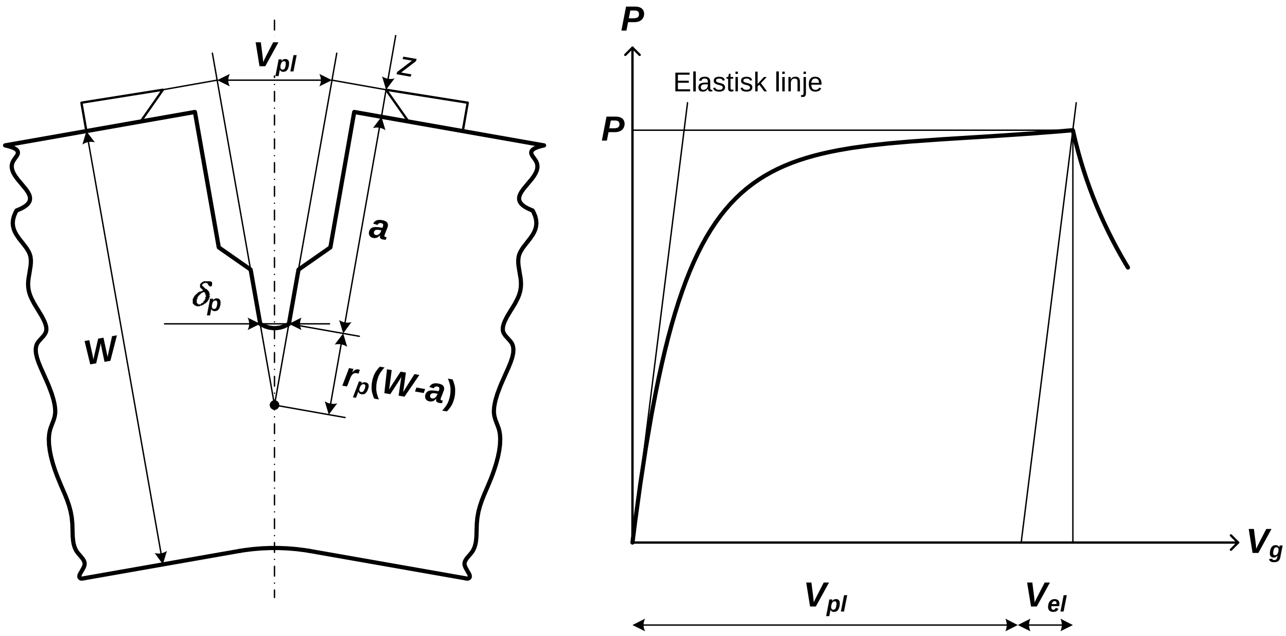
MEK 4520 BRUDDMEKANIKK

Løsningsforslag til obligatorisk øving 2.

Oppgave 1 (CTOD)

Bruddseigheten i form av kritisk CTOD skal for en stålplate måles ved bruk av et SENB-prøvestykke. Forklar hengsel-modellen for måling av CTOD.



CTOD antas å kunne separeres i en elastisk del og en plastisk del:

$$\delta = \delta_{el} + \delta_{pl}$$

som forholder seg henholdsvis til en elastisk og en plastisk andel av forskyvningen målt i en avstand z fra sprekkspissen:

$$V_g = V_{el} + V_{pl}$$

Den elastiske delen kan beregnes ut fra sammenhengen mellom δ_{el} og K_I i henhold til LEFM.

For den plastiske delen antas at prøvens to halvdeler under bøyning roterer omkring et tilsynelatende rotasjonspunkt (se fig.).som befinner seg i restligamentet en avstand $r_p(W\text{-}a)$ fra sprekkspissen. Faktoren r_p kalles plastisk rotasjonsfaktor og er bestemt empirisk til ca. 0.4. Vi antar at all plastisk deformasjon skjer i restligamentet slik at sprekkens (inkludert det maskinerte skåret) er udeformert. Det dannes da to likeformede trekanter hvor forholdene mellom minste katet og hypotenus må være like, altså:

$$\frac{\delta_{pl}}{r_p(W-a)} = \frac{V_{pl}}{r_p(W-a)+a+z}$$

som løst for δ_{pl} gir:

$$\delta_{pl} = \frac{r_p(W-a)}{r_p(W-a)+a+z} V_{pl}$$

Oppgave 2 (G, J, CTOD)

a) *Forklar forskjellen mellom G og J-integralet brukt som "energy release rate". Hvilke antagelser ligger til grunn for at J-integralet skal være gyldig.*

Både *G* og *J* er et uttrykk for endring av energi ved en infinitesimal økning av sprekkarealet *A*. Forskjellen er at *G* er definert for lineær-elastiske materialer mens *J* er definert for ikke-lineære elastiske materialer.

J benyttes imidlertid også for elastisk-plastiske materialer under den antagelse at dersom det ikke finner sted noen avlastning i noen del av legemet vil det ikke være noen prinsipiell forskjell mellom elastisk og elastisk-plastisk oppførsel. Dette medfører også et det strengt tatt ikke får skje noen sprekkvekst fordi den plastiske sonen da forskyver seg fremover og etterlater seg et spor av plastisert og avlastet materiale langs den nydannede sprekkflaten. Antagelsene for at *J* skal være gyldig er derfor at

1) legemet er under konstant eller monotont voksende last og

2) det forekommer ingen sprekkvekst

(Det kan også legges til at *J*-integralet definert som "spenningsintensitetsfaktor" (det vei-uavhengige linjeintegralet) betinger skarp sprekkspiss. Ved plastisering av sprekkspissen får vi avrunding ("blunting") som endrer spennings-tøynings-bildet i en sone nær sprekkspissen. For at *J*-integralet skal være gyldig må denne sonen være liten i forhold til avstanden til ytre overflater.)

b) *Det vei-uavhengige J-integralet er definert som*

$$J = \int_{\Gamma} \left(w\,dy - T_i \frac{\partial u_i}{\partial x} ds \right) \qquad , \qquad w = \int_0^{\varepsilon_{ij}} \sigma_{ij}\, d\varepsilon_{ij}$$

Vis ved hjelp av dette uttrykket hvordan J er relatert til sprekkspiss-åpningen, CTOD, for plan spenningstilstand?

Se figur 3.16 i T.L. Anderson side 120.

Vi betrakter den plastiske sonen foran sprekkspissen som et langt og tynt flytebånd av lengde ρ og legger konturen Γ rundt den plastiske sonen. Da det er langt og tynt er $dy = 0$, og første ledd i uttrykket forsvinner. De eneste spenningene som virker på og normalt på konturen er i y-retningen. Altså står vi igjen med $T_y = \sigma_{yy}$ ($\boldsymbol{n}_y$=1, $\boldsymbol{n}_x$= $\boldsymbol{n}_z$=0). *J* kan da skrives som

$$J = -\int_{\Gamma} \sigma_{yy} \frac{\partial u_y}{\partial x} ds$$

Her betegner *x* avstanden fra sprekkspissen. Vi innfører $X = \rho - x$ som avstanden fra spissen av flytesonen retning mot sprekkspissen. Uttrykket for *J* kan da skrives:

$$J = 2\int_{X=0}^{\rho} \sigma_{yy}(X) \frac{\partial u_y(X)}{\partial X} dX$$

Her skiftet vi fortegn da retningen ble endret (dX=-dx). Videre utnytter vi symmetri; integrerer kun for øvre halvdel av den plastiske sonen men ganger resultatet med 2. $u_y(X)$ er her halve tykkelsen av den plastiske sonen. Hvis vi erstatter dette med hele tykkelsen av sonen, δ får vi

$$J = \int_{X=0}^{\rho} \sigma_{yy}(X) \frac{\partial \delta(X)}{\partial X} dX = \int_{X=0}^{\rho} \sigma_{yy}(\delta) d\delta$$

Til slutt utnytter vi at σ_{yy} må være konstant lik flytegrensen σ_{YS} som trekkes utenfor integralet som da enkelt løses til:

$$J = \sigma_{YS} \delta$$

Oppgave 3 (CTOD)

Du skal bestemme den kritiske spenningen for stor plate med gjennomgående sprekk (se øving 1 oppgave 2) hvor sprekkstørrelsen er anslått til 2a = 10 mm. Du velger å benytte "strip yield" modellen:

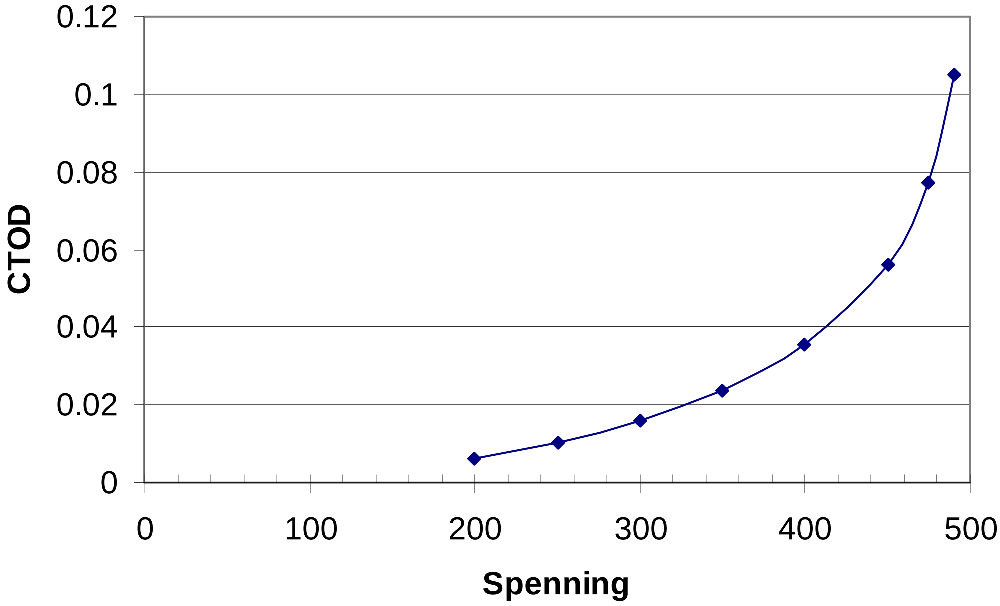
$$\delta = \frac{8\sigma_{YS} a}{\pi E} \ln \sec\left(\frac{\pi}{2} \frac{\sigma}{\sigma_{YS}} \right)$$

Materialets flytegrense er målt til 500 N/mm^2 og elastisitetsmodulen er 2.1·10^5 N/mm^2. Du kjenner imidlertid ikke materialets bruddseighet, og velger å plotte kritisk spenning mot bruddseighet for å belyse saken.

Hvor stor spenning vill du (subjektivt) anbefale å tillate?

Ved brudd er pålagt CTOD lik materialets bruddseighet δ_c. Vi kan da beregne δ_c som funksjon av spenningen etter formelen over, for eksempel som i tabellen under.

σ	δ_c
200	0.006
250	0.011
300	0.016
350	0.024
400	0.036
450	0.056
475	0.077
490	0.11



Det er sjelden at vi opplever bruddseigheter under 0.05mm. Det betyr at vi ganske trygt kan anvende materialet opp til ca. 450MPa. For utnyttelser over dette spenningsnivået bør man utføre testing for å bestemme δ_c.