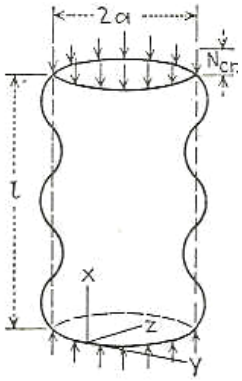
Appendiks M: Stabilitet af cylinderskaller

Dette appendiks er en del af de indledende undersøgelser, der er foretaget med henblik på at blive fortrolig med de forskellige beregningskoncepter beskrevet i afsnit 4.2.2. Der undersøges derfor en række forskellige aksialt belastede cylindere uden åbninger efter koncept I, III,a og III,b. Dette har til formål at fastlægge imperfektionsfølsomhedsfaktoren angivet i DIN – 18.800 del 4. Desuden undersøges en aksialt belastet cylinderskal med åbning og en momentpåvirket cylinderskal med åbning.

M.1 Aksialt belastet cylinderskal uden åbning

M.1.1 Geometri



Figur M.1: Illustration af geometri og belastningssituation [8].

M.1.2 Analytisk løsning

Den analytiske løsning følger DIN – 18.800 del 4, se appendiks I.
Resultatet for en række forskellige geometrier fremgår af tabel M.1.

Test	r [mm]	l [mm]	t [mm]	σ_{kr} [N/mm^2]	P_{kr} [N/mm]	C_x	$\sigma_{x,Si}$ [N/mm^2]	λ_{sx}	κ_1	κ_2	$\sigma_{xS,r,k}$ (κ_1) [Mpa]	$\sigma_{xS,r,k}$ (κ_2) [Mpa]
1	50	1000	1	2541,96	2541,96	0,69	1752,79	0,37	1,00	0,89	235,00	209,47
2	100	1000	1	1270,98	1270,98	0,93	1186,25	0,45	0,97	0,82	227,64	192,17
3	250	1000	1	508,39	508,39	1,00	508,58	0,68	0,81	0,60	189,81	140,71
4	500	1000	1	254,20	254,20	1,00	254,39	0,96	0,61	0,34	144,44	79,02
5	1000	1000	1	127,10	127,10	1,00	127,29	1,36	0,35	0,12	82,74	28,10
6	2000	1000	1	63,55	63,55	1,00	63,74	1,92	0,18	0,05	41,43	12,75
7	3000	1000	1	42,37	42,37	1,00	42,56	2,35	0,12	0,04	27,66	8,51

Tabel M.1: Resultater for beregninger udført i henhold til DIN-normen.

M.1.3 Koncept I

Resultater for beregninger efter koncept I fremgår af tabel M.2.

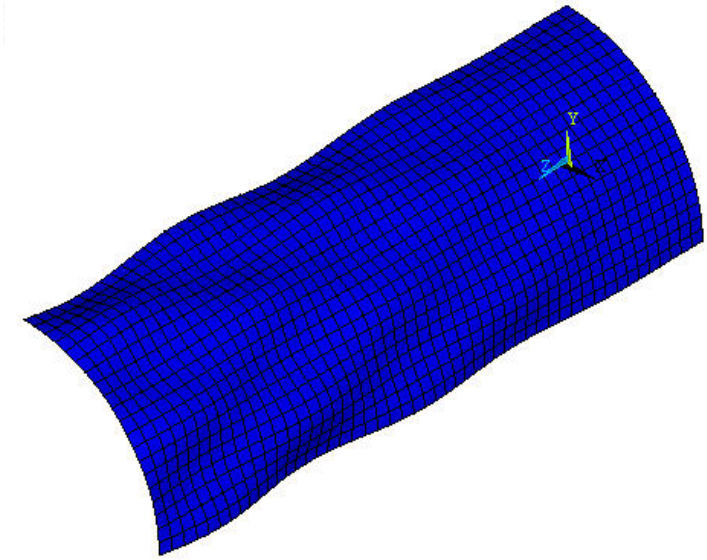
Test	r [mm]	l [mm]	t [mm]	P_{kr} [N/mm]	Afvigelse [%]
1	50	1000	1	2506	1,41
2	100	1000	1	1291	-1,58
3	250	1000	1	506	0,47
4	500	1000	1	254	0,08
5	1000	1000	1	127	0,08
6	2000	1000	1	64	-0,71
7	3000	1000	1	42,5	-0,32

Tabel M.2: Resultater for koncept I ifølge Ansys.

Sammenlignes kolonnerne for P_{kr} i henholdsvis tabel M.1 og M.2 fremgår det, at der for store radier er god overensstemmelse mellem koncept 1 og DIN-normen.

Udbøjningsfigur

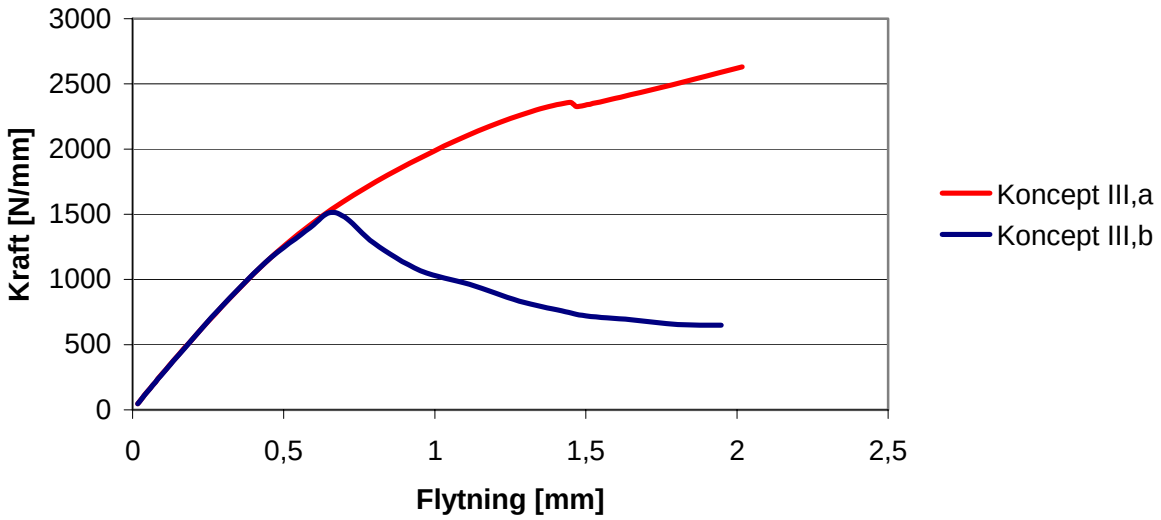
Et eksempel på en udbøjningsfigur ses på figur M.2



Figur M.2: Udbøjningsfigur for cylinder (r = 250 mm, l = 1000 mm, t = 1 mm).

M.1.4 Koncept III,a og III,b

Et typisk resultat for koncept III,a og III,b fremgår af figur M.3.



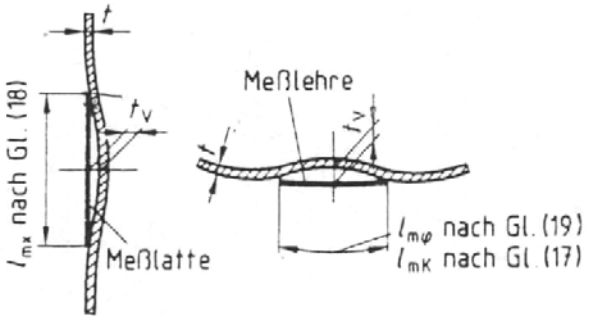
Figur M.3: Resultater for koncept III,a og III,b. (r = 25 mm, l = 100 mm, t = 1 mm).

Der ses, at kraften ved koncept III,a falder og derefter stiger igen, hvilket stemmer overens med ligevægtstræet beskrevet i afsnit 4.1.3. Der er her brugt en imperfektions-form svarende til første mode shape, og med størrelse svarende til udtrykket i M.1.5.

M.1.5 Sammenligning af imperfektionsfølsomhedsfaktoren

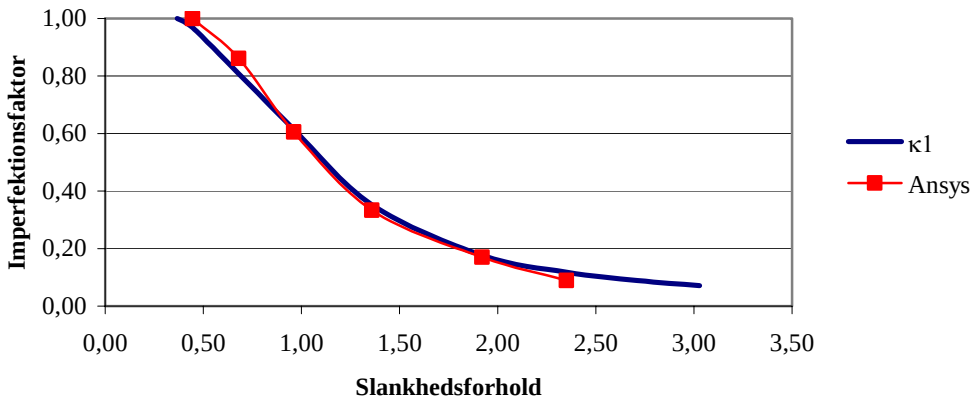
DIN-normen anvender en imperfektion svarende til den største af følgende udtryk:

$$t_v = \max \begin{cases} \dfrac{1{,}5 \cdot l_m}{100} \\ 1{,}5 \cdot t \end{cases}$$



Figur M.4: Illustration af imperfektionens størrelse [7].

Denne imperfektion påføres testeksemplerne, og disse løses efter koncept III,b. Følsomhedsimperfektionsfaktoren findes da ved at multiplicere faktoren fundet ved koncept III,b med den ideelle bulemodstand (koncept I) og dividere med den karakteristiske flydespænding.

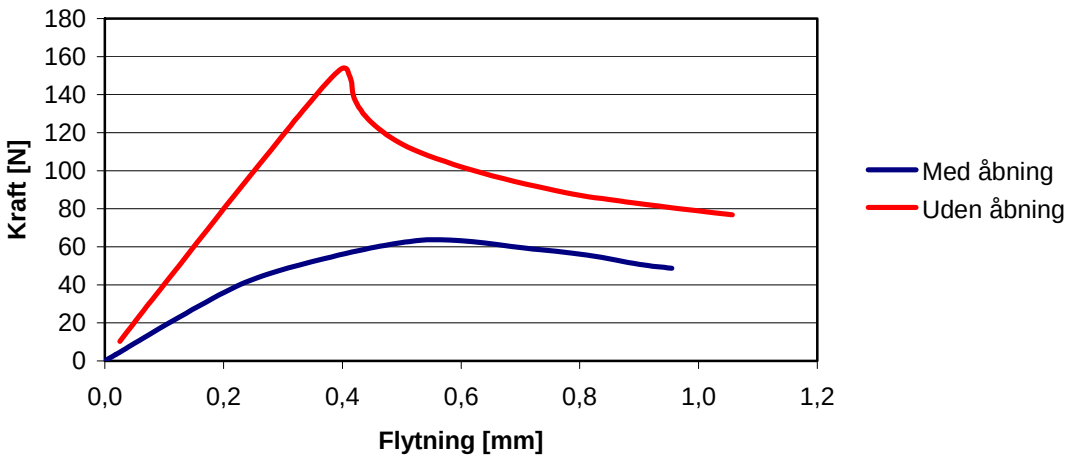


Figur M.5: Sammenligning af imperfektionsfølsomhedsfaktoren.

Det fremgår af figur M.5, at imperfektionsfølsomhedsfaktoren fundet ved hjælp af Ansys følger den i DIN-normen angivne. Det kan derfor konkluderes, at Ansys regner stabilitet i henhold til DIN-normen. Det skal dog bemærkes, at ovenstående analyse udelukkende er gældende for cylindere uden åbninger udsat for aksial belastning. Det er derfor nærliggende at undersøge, hvorledes imperfektionsfølsomhedsfaktoren ændres, hvis der modelleres åbning.

M.2 Aksialbelastet cylinderskal med åbning

Formålet er at undersøge hvad der sker med stabiliteten når cylinderen har en åbning. Der undersøges en cylinder med radius = 250 mm, længde = 1000 mm, t = 1 mm og radius af åbning = 50 mm.

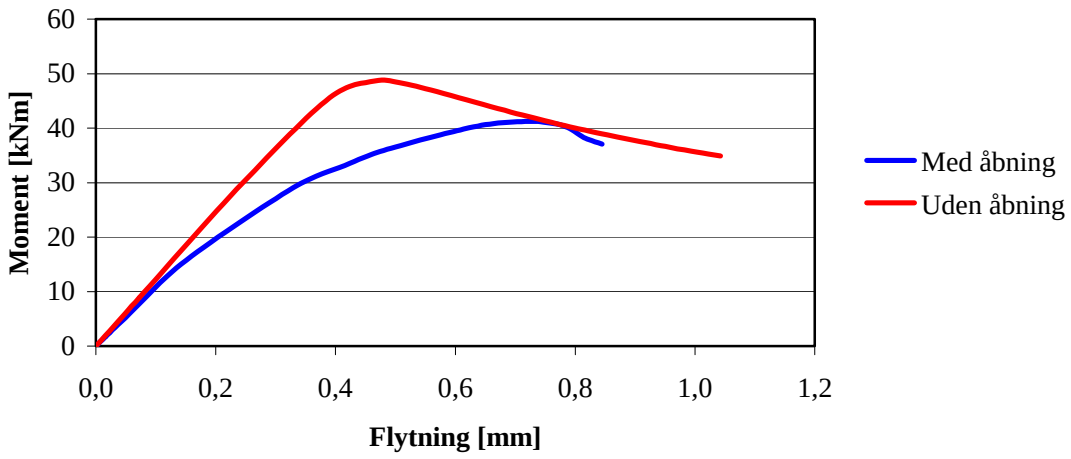


Figur M.6:Resultat for aksialbelastet cylinderskal med og uden åbning.

Det fremgår at den kritiske bulelast mere end halveres når der modelleres en åbning i cylinderen. Dette indikerer at cylinderskaller er imperfektionsfølsomme. Der er her brugt en imperfektionsform svarende til første mode shape, og med størrelse svarende til udtrykket i M.1.5. Det tilsvarende er anvendt i M.3.

M.3 Momentpåvirket cylinderskal med åbning

Formålet er at undersøge, hvad der sker med stabiliteten, når cylinderen har en åbning samt momentpåvirkes. Der undersøges en cylinder med radius = 250 mm, længde = 1000 mm, t = 1 mm og radius af åbning = 50 mm.



Figur M.7: Resultat for momentpåvirket cylinderskal med og uden åbning.

Det fremgår, at den kritiske bulelast som forventet falder, idet der modelleres en åbning i cylinderen. Faldet er dog ikke så stort som ved den aksialbelastede cylinder.