

Materiale partialkoefficienter for aluminium

Indledning

Grundlags projektet for fastlæggelse af kommende sikkerhedsniveau har udarbejdet dokumentet *L3 Proposal for load combinations and partial factors, Draft – 6 august 2025*.

Heri er i afsnit 3 fastlagt regler for beregning af partialkoefficienter for konstruktionsmaterialer. I de følgende afsnit vil beregningsprincippet i formel (7) og tabellerne 10, 11 og 12 blive benyttet.

Citater fra L3

$$\gamma_R = \gamma_{R1} \gamma_{R2} \gamma_{R3}$$

(1)

	Without warning	With warning	With warning and additional load bearing capacity
γ_{R1}	1,1	1,0	0,9

Table 1. Sub-partial factor γ_{R1} .

where
 γ_{R1} depends on the failure type (with/without warning)
 γ_{R2} depends on the model uncertainty V_δ
 γ_{R3} depends on the strength parameter uncertainty V_R

V_δ	$\leq 0,05$	0,10	0,15	0,20	0,25
γ_{R2}	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20

Table 2. Sub partial factor γ_{R2} as a function of the coefficient of variation V_δ for model uncertainty.

V_R	$\leq 0,05$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
γ_{R3}	1,175	1,225	1,275	1,325	1,40	1,475

Table 3. Sub partial factor γ_{R3} as a function of the coefficient of variation V_R for strength parameter.

Citater fra JRC, *Reliability background of the Eurocodes, 2024.*:

I nedenstående tabel A.28 er anført usikkerhederne og den ekstra sikkerhed, som er indeholdt i beregningsmodellerne i aluminiumnormen.

Middelværdien i tabel A.28 viser, at styrken generelt er større end den ved beregningsmodellen beregnede værdi. Dette betyder, at den før omtalte bias, b, er større end 1.

Som eksempel er den beregnede bøjningsbæreevne ved ren tværsnitsanalyse 1.27 større end den reelle styrke. Dette svarer til en bias, b = 1.27. γ_{R2} for bøjning er 1.10, idet CoV er 14.9%

For stabilitet er den beregnede bøjningsbæreevne 1.18 større end den reelle styrke, Dette svarer til bias, b = 1.18. γ_{R2} for stabilitet er 1.10, idet CoV er 14.6%

Der mangler oplysninger om beregningsmodellen for brud, samlinger mm. Derfor benyttes de tilsvarende oplysninger, som gælder for stålkonstruktioner. Bias, b = 1.10 og CoV = 5%.

Table A.28. Model uncertainty related to the resistance model associated with the typical failure modes of aluminium member

Resistance / failure mode	Relative frequency	Random variable	Mean	CoV
	w_k^1		μ_θ	V_θ
Axial resistance of cross-section	10%	$\theta_{R, mod, ik}$	1,00	0,0%
Bending resistance of cross-section ²	30%	$\theta_{R, mod, ik}$	1,27	14,9%
Shear resistance of cross-section	5%	$\theta_{R, mod, ik}$	1,00	5,0%
Buckling resistance of members in compression ³	20%	$\theta_{R, mod, ik}$	1,18	14,6%
Buckling resistance of members in bending ⁴	25%	$\theta_{R, mod, ik}^4$	1,00	10,0%

¹ Each load effect is sampled with a different relative frequency, w_k . The values are assumed.

² Including the effects of normal and shear forces. The values are obtained from tests related to bending of extruded tubes (EN AW 6061-T6 and 6063-T5).

³ The values are obtained from tests related to buckling of extruded tubes and I-sections (EN AW 6061-T6, 6063-T5 and 6082-T6).

⁴ Including the effects of axial compression.

⁵ For lateral-torsional buckling of unsymmetrical extruded profiles, for resistance model, $\theta_{R, mod, ik}$, the mean of 1,19 and coefficient of variation of 0,08 are obtained (Doksanovic, PhD). The distribution is lognormal. When results are separated by relative slenderness areas, the values are 1,27/0.06 (less than 1,2) and 1,13/0.03 (higher than 1,2).

I nedenstående tabel A.19 er anført usikkerhederne og den ekstra sikkerhed, som er indeholdt i flyde- og brudstyrkerne i aluminiumnormen.

Table A.19 Variability of available material properties

Parameter	Alloy EN AW	Temper	Mean value	Coefficient of variation	Distribution type
	5754	H111	1,56 $R_{p0,2,min}$	11 %	Lognormal
Y be taken from 2% proof strength, f_o	6005A	T6	1,18 $R_{p0,2,min}$	4,7 %	Normal
	6060	T6	1,25 $R_{p0,2,min}$	5,0 %	Lognormal
	6060	T66	1,28 $R_{p0,2,min}$	8,8 %	Lognormal
	6063	T6	1,26 $R_{p0,2,min}$	4,4 %	Normal
	6063	T66	1,19 $R_{p0,2,min}$	4,1 %	Normal
	6082	T6	1,20 $R_{p0,2,min}$	6,2 %	Normal
Ultimate tensile strength, f_u	5754	H111	1,14 $R_{m,min}$	3,4 %	Lognormal
	6005A	T6	1,07 $R_{m,min}$	2,8 %	Lognormal
	6060	T6	1,15 $R_{m,min}$	5,3 %	Lognormal
	6060	T66	1,07 $R_{m,min}$	6,5 %	Lognormal
	6063	T6	1,09 $R_{m,min}$	3,0 %	Lognormal
	6063	T66	1,07 $R_{m,min}$	3,3 %	Lognormal
	6082	T6	1,12 $R_{m,min}$	5,0 %	Lognormal
Modulus of elasticity, E	All	All	69943 MPa	5,5 %	Lognormal
Poisson ratio, ν	All	All	0,33	3,3 %	Normal
$R_{p0,2,min}$ and $R_{m,min}$ are the minimum yield strength $R_{p0,2}$ and the lower bound of the ultimate tensile strength R_m , according to the applicable product standard, e.g. of the EN 755 or EN 485 series.					

Beregning af resulterende værdier for partialkoefficienter:

γ_{R1} kan bestemmes direkte ud fra tabel 10 i L3.

γ_{R2} skal justeres med den ekstra sikkerhed, som er indeholdt i beregningsmodellen for styrkeberegningen. Denne ekstra sikkerhed (bias) kan findes i tabel A.28 for forskellige svigtformer.

γ_{R3} skal justeres i forhold til forskellen mellem den nominelle styrke og den karakteristiske værdi. Denne forskel er beskrevet tabel A.19. Denne beregning er udført i et regneark, hvor samtidig de endelige beregninger af de for aluminiumkonstruktioner gældende værdier af γ_{M1} og γ_{M2} er indeholdt.

γ_{M1} gælder for flydning af aluminium, hvor der er en bæreevnereserve, idet brudstyrken er 10% højere end flydestyrken - γ_{R1} kan derfor sættes til 0.9.

γ_{M1} gælder for stabilitetssvigt af stålelementer, hvor bruddet sker varslet - γ_{R1} er derfor 1.0.

γ_{M2} gælder for brudstyrke af stål, hvor bruddet er uvarslet - γ_{R1} er derfor 1.1.

I bestemmelsen af γ_{M1} kan antages en beregningsmodel svarende til stabilitetssvigt, idet en ren beregning af γ_{M1} ved flydning ville resultere i en værdi, som er mindre end 1.1. Beregning af både flydesvigt og stabilitetssvigt er vedlagt.

I bestemmelsen af γ_{M2} kan antages at bias er 1.1, idet den i A.25 (for stål) anførte værdi for de tre brudsvigtformer er 1.10. $Cov = 5\%$

Konklusion

Konklusionen af ovennævnte beregninger er, at vi i Danmark kun delvis kan fastholde de anbefalede værdier for partialkoefficienter i aluminiumnormen DS/EN 1999-x-x. γ_{M1} skal justeres fra 1.10 til 1.15.

$$\gamma_{M1} = 1.15$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

Print af beregning i regneark:

bending		flyde styrke		gamma_M1		anneks A.19		korrektionsfaktor				
	mean	COV	sigma		mu	sigma	karak 5%/middel	middel/nominel	karak 5%/nominel	5% / nominel		
5754	1	0.11	0.11 LN		-0.01	0.11	0.83	1.56	0.64	1.29		
6005A	1	0.047	0.047 LN		0.00	0.05	0.92	1.18	0.85	1.09		
6082	1	0.062	0.062 LN		0.00	0.06	0.90	1.2	0.83	1.08		
modelusikkerhed												
COV		0.15						0.05				
bias		1.27						1.00		axial force - yielding		
gam_R1		0.90	varslet med reserve					0.90	varslet med reserve			
5754												
gam-R1	COV		korrektionsfaktor		bias	gamma	COV		korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15		1.27		0.9			0.05		1	0.9
gam-R3	R	0.11	1.29			1.10			0.11	1.29	1.00	1.00
produkt					1.24	0.95					1.24	0.95
					1.22	0.74					1.11	0.86
6005A												
gam-R1	COV		korrektionsfaktor		bias	gamma	COV		korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15		1.27		0.9			0.05		1	0.9
gam-R3	R	0.047	1.09			1.10			0.047	1.09	1.00	1.00
produkt					1.17	1.07					1.17	1.07
					1.16	0.84					1.05	0.97
6082												
gam-R1	COV		korrektionsfaktor		bias	gamma	COV		korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15		1.27		0.9			0.05		1	0.9
gam-R3	R	0.062	1.08			1.10			0.062	1.08	1.00	1.00
produkt					1.19	1.10					1.19	1.10
					1.18	0.86					1.07	0.99
gamma_M1 = 1,15												

bending	Stabilitet				gamma_M1			
	mean	COV	sigma	mu	sigma	mu	sigma	
5754	1	0.11	0.11 LN	-0.01	0.11			
6005A	1	0.047	0.047 LN	0.00	0.05			
6082	1	0.062	0.062 LN	0.00	0.06			
modelusikkerhed								
COV		0.15						
bias		1.18						
gam_R1		1.00	varslet					
5754								
gam-R1		COV			korrektions bias		gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15			1.18		1	1
gam-R3	R	0.11			1.29		1.05	1.05
produkt							1.24	0.95
							1.30	1.00
6005A								
gam-R1		COV			korrektions bias		gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15			1.18		1	1
gam-R3	R	0.047			1.09		1.05	1.05
produkt							1.17	1.07
							1.23	1.13
6082								
gam-R1		COV			korrektions bias		gamma	produkt
gam-R2	XR	0.15			1.18		1	1
gam-R3	R	0.062			1.08		1.05	1.05
produkt							1.19	1.10
							1.25	1.15

gamma_M1 = 1.15

annex A.19			
karak 5%/middel	1.56	karak 5%/nominel	1.29
midde/nominel	1.18	5% / nominel	1.09
	1.2		1.08

Buckling resistance of members in bending

COV 0.10

bias 1.00

gam_R1 1.00 varslet

gam-R1	COV	korrektions bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.1	1	1
gam-R3	R	0.11	1.29	1.05
produkt			1.24	0.95
			1.30	1.00

gam-R1	COV	korrektions bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.1	1	1
gam-R3	R	0.047	1.09	1.05
produkt			1.17	1.07
			1.23	1.13

6082

gam-R1	COV	korrektions bias	gamma	produkt
gam-R2	XR	0.1	1	1
gam-R3	R	0.062	1.08	1.05
produkt			1.19	1.10
			1.25	1.15

bending	brudstyrke		gamma_M2		korrektionsfaktor 5% / nominal
	mean	COV	sigma	mu	
5754	1	0.034	LN	0.03	1.08
6005A	1	0.028	LN	0.03	1.02
6082	1	0.05	LN	0.05	1.03

anneks A.19		korrektionsfaktor 5% / nominal
midde//nominel	karak 5%/nominel	
	1.14	0.88
	1.07	0.93
	1.12	0.89

karak 5%/midde
0.95
0.95
0.92

modelusikkerhed

COV	0.05
bias	1.1
gam_R1	1.1 uvarslet

5754	COV	korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R1				1.1	1.1
gam-R2 XR	0.05		1.1	1.00	0.91
gam-R3 R	0.034	1.08		1.16	1.08
produkt				1.27	1.08

6005A	COV	korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R1				1.1	1.1
gam-R2 XR	0.05		1.1	1.00	0.91
gam-R3 R	0.028	1.02		1.15	1.13
produkt				1.27	1.13

6082	COV	korrektionsfaktor	bias	gamma	produkt
gam-R1				1.1	1.1
gam-R2 XR	0.05		1.1	1.00	0.91
gam-R3 R	0.05	1.03		1.18	1.14
produkt				1.29	1.14

gamma_M2=1,25