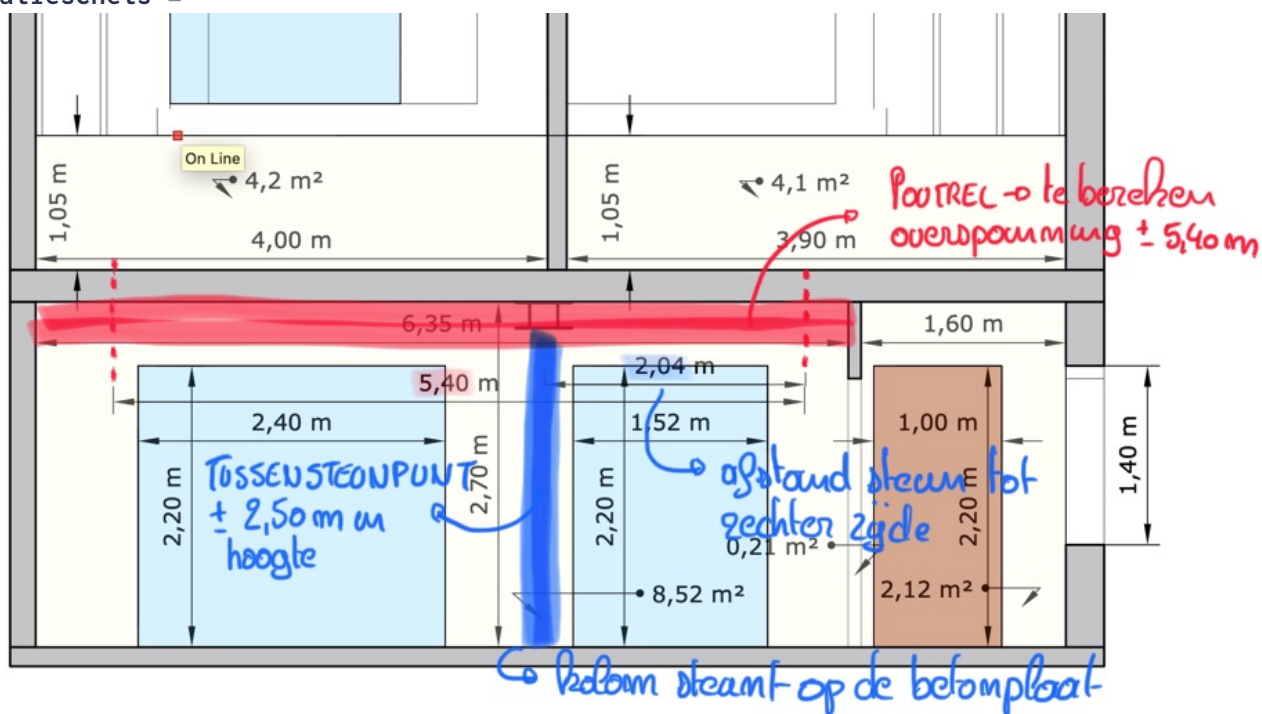


Berekening Kolom 3 - SHS 140/5

Berekening van **Kolom 3**, de kolom die de liggers **Profiel 1**, **Profiel 2** en **Profiel 5** ondersteunt en staat voor de beglazing aan de achterzijde van de woning.

situatieschets =



Berekening Kolom 3

Berekening Kolom 3 - SHS 140/5

Conclusie

Doorsnedecontrole :UGT

Stabiliteitscontrole :UGT

Vervormingen :GGT

Geometrie en materiaal

Belastingen

Berekening

Geometrische imperfectie kolom

Initiële scheefstand

Initiële vooruitbuiging

Belastingschema

Interne krachtwerking

Spanningsverdeling in de doorsnede

Classificatie van de doorsnede

Controle

Uiterste grenstoestanden :UGT

Doorsnede controle

Stabiliteit controle

Bruikbaarheidsgrenstoestanden :GGT

Horizontale verplaatsing

Achterliggende berekeningen

Dependencies en hulpfuncties

Belastingsschema's

Schema 1. Ingekleemde kolom die bovenaan vast gehouden wordt - Initiële vervorming

Bepalen $N(t)$, $V(t)$ en $M(t)$

Bepalen $\alpha(t)$ en $v(t)$

Toepassen kinematische randvoorwaarde

Schema 2. Ingekleemde kolom die bovenaan vast gehouden wordt - Initiële vooruitbuiging

Bepalen $N(t)$, $V(t)$ en $M(t)$

Bepalen $\alpha(t)$ en $v(t)$

Toepassen kinematische randvoorwaarde

Conclusie

Een controle van de draagkracht van de kolom is uitgevoerd, dit zowel in **GGT** als **UGT**.
Onderstaande controles zijn uitgevoerd.

Controles in **GGT**

→ Controle der vervormingen - zie de controles onder het hoofdstuk *Controle*

Controles in **UGT**

→ Doorsnede- en stabiliteitscontrole - zie de controles onder het hoofdstuk *Controle*

Algemeen (conservatief):

- **Elastische toetsing** aan de hand van het vloeicriterium van *Maxwell–Huber–Hencky–von Mises*, met $\sigma_{x,Ed}$ de spanning in de lengterichting, $\sigma_{z,Ed}$ de spanning in de dwarsrichting en τ_{Ed} de schuifspanning in een punt, maar **controle op basis van weerstanden** en interactie tussen N_{Rd} , V_{Rd} en M_{Rd} geniet voorkeur.

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) + 3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right) \leq 1$$

- **Conservatieve benadering** door het **lineair optellen** verhouding rekenwaarden belastingeffecten en hun weerstand kan ook.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

Een **controle op basis van weerstanden** en met interactie tussen N_{Rd} , V_{Rd} en M_{Rd} is beschouwd in onderhavige rekennota.

Doorsnedecontrole :UGT

Axiale druk

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{328.1}{628.2} = 0.52 \rightarrow \text{OK}$$

Buigend moment

$$UC = \frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{3.1}{19.9} = 0.16 \rightarrow \text{OK}$$

Dwarskracht

$$UC = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{3.1}{314.2} = 0.01 \rightarrow \text{OK}$$

Wringing

$$UC = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{3.1}{314.2} = 0.01 \rightarrow \text{OK}$$

Stabiliteitscontrole :UGT

Knikstabiliteit (*Axiale druk*)

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{328.1}{364.3} = 0.9 \rightarrow \text{OK}$$

Kipstabiliteit (*Buigend moment*)

$$UC = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{3.1}{31.7} = 0.1 \rightarrow \text{OK}$$

Gecombineerd effect

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{\mu_y C_{my} \chi_{LT}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{10940.2}{11539.9} = 0.95 \rightarrow \text{OK}$$

Vervormingen :GGT

Uitzicht (9)

$$UC = \frac{v_{max}}{h_1 / 250} = \frac{1.2}{11.6} = 0.1 \rightarrow \text{OK}$$

Geometrie en materiaal

De geometrie is af te lezen op de *situatieschets*.

geom = (L = 2.9)

- **geom** = (
 - L = 2.9, # m - verdiepingshoogte = 2.7m - 0.22 voor het profiel + 0.38cm uitgr.
 -)

Profieldoorsnede

kolom =

(naam = "SHS 140/5", kwaliteit = "S235", beschrijving = "Kolom 3", knikkromme = :a)

- **kolom** = (
 - naam = "SHS 140/5",
 - kwaliteit = "S235",
 - beschrijving = "Kolom 3",
 - knikkromme = :a
-)

	name	G	b	t	A	Av	I	Wel
1	"SHS 100/10"	27.4	100	10.0	3493	1746	4.621	92.42
2	"SHS 120/5"	17.8	120	5.0	2273	1137	4.977	82.95
3	"SHS 120/6.3"	22.2	120	6.3	2823	1411	6.029	100.5
4	"SHS 120/8"	27.6	120	8.0	3515	1758	7.263	121.1
5	"SHS 140/5"	21.0	140	5.0	2673	1337	8.075	115.4
6	"SHS 120/10"	33.7	120	10.0	4293	2146	8.521	142.0
7	"SHS 120/12.5"	40.9	120	12.5	5207	2604	9.818	163.6
8	"SHS 140/6.3"	26.1	140	6.3	3327	1663	9.839	140.6
9	"SHS 150/5"	22.6	150	5.0	2873	1437	10.02	133.6
10	"SHS 140/8"	32.6	140	8.0	4155	2078	11.95	170.7

Haal de **eigenschappen** op van het gekozen profiel

eig =

DataFrameRow (16 columns)

	name	b	t	ro	ri	G	P	A	Av	I	Wel
	String	Int64	Int64	Float64	Int64	Int64	Float64	Int64	Int64	Float64	Float64
1	SHS 140/5	140	5	7.5	5	21	0.547	2673	1337	8.075	115.4

Nominale waarde volgen *NBN EN 1993-1-1 §3.2*

f_yk = 235

• **f_yk** = `parse(Int64, kolom[:kwaliteit][2:end])`

Rekenwaarden van materiaaleigenschappen volgens *NBN EN 1991-1-1 §3.2.6*

E = 210000

• **E** = 210_000 # *MPa*

G = 80769.23076923077

• **G** = **E** / (2 * (1 + **v**)) # *MPa*

v = 0.3

• **v** = 0.3 # *Coëfficiënt van Poisson in het elastisch gebied*

z_max = 0.07

• **z_max** = +(eig.b / 1000) / 2 # *m - Halve hoogte, van neutrale lijn tot uiterste vezel*

z_min = -0.07

• z_min = -(eig.b / 1000) / 2 # m - Halve hoogte, van neutrale lijn tot uiterste vezel

Belastingen

Overzicht van de aangrijpende belastingen

gevallen =

	naam	waarde	beschrijving
1	"GGT_F"	196.122	"Afdracht profiel 5 - lasten GGT Freque
2	"GGT_K"	234.511	"Afdracht profiel 5 - lasten GGT Karak
3	"UGT"	328.105	"Afdracht profiel 5 - lasten UGT"

combinaties =

	check	naam	formule	uitkomst
1	:GGT	"F"	"GGT_F"	196.122
2	:GGT_K	"F"	"GGT_K"	234.511
3	:UGT	"F"	"UGT"	328.105

replacer = r"GGT_F|GGT_K|UGT" ⇒ #1

maatgevend =

	check	F
1	:GGT	196.122
2	:GGT_K	234.511
3	:UGT	328.105

rvw =

	check	F	L
1	:GGT	196.122	2.9
2	:GGT_K	234.511	2.9
3	:UGT	328.105	2.9

Berekening

Berekening van de aangrijpende krachswerking

Controle toepasbaarheid *1ste orderberekening* waard F_{cr} de elastische kritieke (knik)belasting en F_{Ed} de rekenwaarde van de belastingen

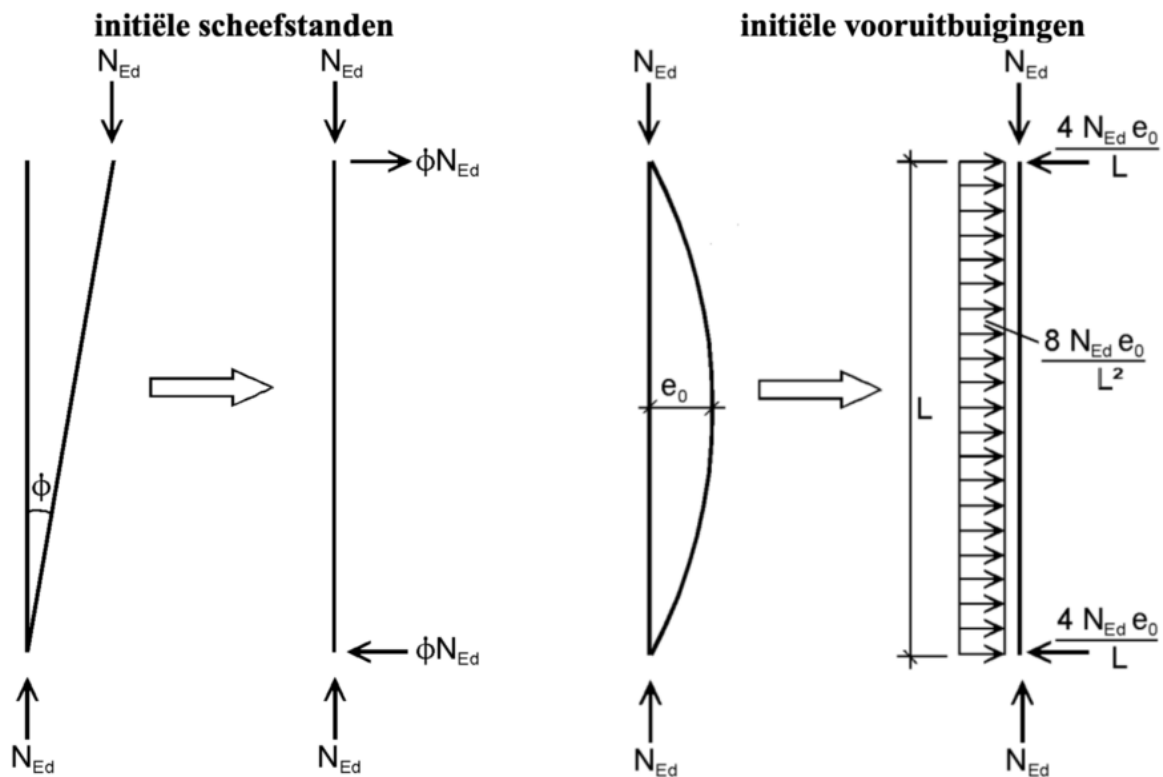
$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 - \text{elastische berekening}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 - \text{plastische berekening}$$

Geometrische imperfectie kolom

Gemetrische imperfectie volgen *NBN EN 1993-1-1 §5.3.2* is afhankelijk van de knikkromme (bepaald volgens tabel 6.2)

figuur5_4 =



Duiding van de scheefstand en vooruitbuiging en mogelijke **equivalente krachten** ter vervanging van de geometrische imperfecties

Initiële scheefstand

Draagt bij tot bijkomende knikgevoeligheid

$$\phi = 1/200$$

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m \quad | > \text{rationalize}$$

met

$$\phi_0 = 1/200$$

- $\phi_0 = 1/200$ # Basiswaarde van de scheefstand

$$\alpha_h = 1.0$$

- $\alpha_h = \max(\min(2 / \sqrt{\text{geom}[:L]}), 1), 2/3)$ # Reductiefactor voor de hoogte h

$$\alpha_m = 1.0$$

- $\alpha_m = \sqrt{0.5 * (1 + 1 / (m = 1; m))}$ # Reductiefactor meerdere kolommen

Initiële vooruitbuiging

Ter bepaling van de bijkomende buigingsknik - Bepaling van de verhouding e_0/L in functie van de knikkromme van de doorsnede, zie onderstaande tabel

tabel5_1 =

	knikkromme	elastisch	plastisch
1	:a0	1//350	1//300
2	:a	1//300	1//250
3	:b	1//250	1//200
4	:c	1//200	1//150
5	:d	1//150	1//100

$$e_0 = 1/300$$

- $e_0 = \text{tabel5_1.elastisch}[\text{tabel5_1.knikkromme} == \text{kolom}[:\text{knikkromme}]] |> \text{first}$ # e_0

Belastingschema

Samenstel van de belastingeffecten van enerzijdes de **initiële vervorming** en anderzijds de **intiële vooruitbuiging**

N =

$$F$$

- $N = F$

V =

$$-F\phi - \frac{4Fe_0}{L} + \frac{8Fe_0t}{L^2}$$

- $V = V1 + V2$

M =

$$-\frac{FL\phi}{2} + F\phi t + \frac{4Fe_0t}{L} - \frac{4Fe_0}{L} - \frac{4Fe_0t^2}{L^2} + \frac{-2FLe_0 + 12Fe_0}{3L}$$

• $M = M1 + M2$

α =

$$\frac{-\frac{FL\phi t}{2} + \frac{F\phi t^2}{2}}{EI} + \frac{-\frac{2Fe_0t}{3} + \frac{2Fe_0t^2}{L} - \frac{4Fe_0t^3}{3L^2}}{EI}$$

• $\alpha = \alpha1 + \alpha2$

v =

$$\frac{-\frac{FL\phi t^2}{4} + \frac{F\phi t^3}{6}}{EI} + \frac{-\frac{2Fe_0t}{3} + \frac{2Fe_0t^2}{L} - \frac{4Fe_0t^3}{3L^2}}{EI}$$

• $v = v1 + v2$

σ =

$$\frac{z\left(-\frac{FL\phi}{2} + F\phi t + \frac{4Fe_0t}{L} - \frac{4Fe_0}{L} - \frac{4Fe_0t^2}{L^2} + \frac{-2FLe_0+12Fe_0}{3L}\right)}{I} + \frac{F}{A}$$

• $\sigma = M * z / I + N / A$

Interne krachswerking

De interne krachswerking heeft invloed op de bepaling van de doorsnede, alsook op de verdere stabiliteitscontrole (knik problematiek)

rvw_compleet =

	check	F	L	phi	e_o	I	A	EI
1	:GGT	196.122	2.9	1//200	1//300	8.075e-6	0.002673	1695.75
2	:GGT_K	234.511	2.9	1//200	1//300	8.075e-6	0.002673	1695.75
3	:UGT	328.105	2.9	1//200	1//300	8.075e-6	0.002673	1695.75

```
• rvw_compleet = begin
•   rvw_compleet = copy(rvw)
•   rvw_compleet[:, :phi]   .= phi
•   rvw_compleet[:, :e_0]   .= e_0
•   rvw_compleet[:, :I]     .= eig.I * 10^-6 # m^4
•   rvw_compleet[:, :A]     .= eig.A * 10^-6 # m^2
•   rvw_compleet[:, :EI]    .= eig.I * E * 10^-3 # kNm^2
•   rvw_compleet
• end
```

opl =

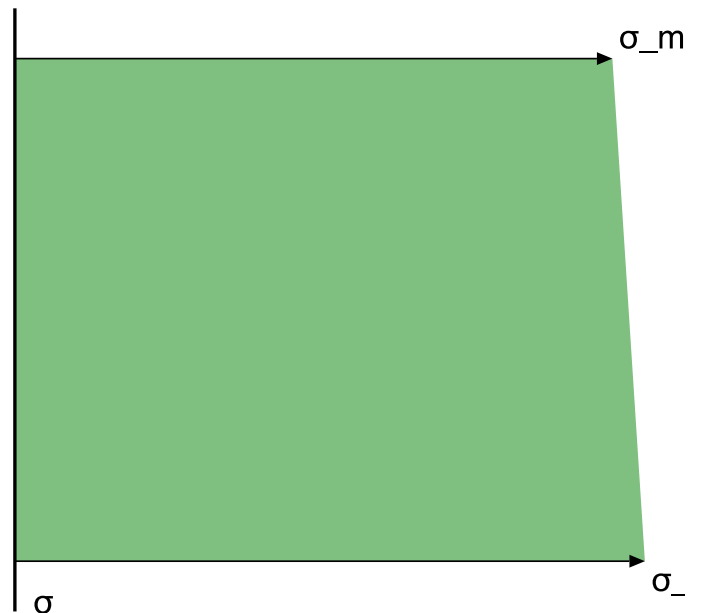
	check	N	V	M	α	v	σ
1	:GGT	#101	#101	#101	#101	#101	#101
2	:GGT_K	#101	#101	#101	#101	#101	#101
3	:UGT	#101	#101	#101	#101	#101	#101

Spanningsverdeling in de doorsnede

Voor een correcte inschatting van de classificatie van het profiel, moeten we de drukzone van de doorsnede kennen

Kies een locatie voor t : 1.05

Kies een grenstoestand:



Classificatie van de doorsnede

Classificatie volgens doorsnede in categorieën die aangeven hoezeer de **weerstand** en **rotatiecapaciteit** zijn beperkt door de **plooiweerstand**. Voor een **klasse 1** bijvoorbeeld mag er zich een *plastisch scharnier* vormen zonder weerstandsverlies.

classificatie = f (deel onder druk onder beschouwde belastingscombinatie)

Gebaseerd op het spanningsverloop langsheen de kolom ($=f(t)$) wordt de knikkromme bepaald via Tabel 5.2 in NBN EN 1993-1-1

classificatie (generic function with 1 method)

```
• function classificatie(σ; f_y=235)
•   # Berekening α
•   σ_pos, σ_neg = σ(z_max), σ(z_min)
•   sigma = LinearInterpolation(
•     sort([σ_pos, σ_neg]), [1, 0], extrapolation_bc=Line())
•   α = max(min(sigma(0), 1), 0) # Bepaal α, de locatie waar de spanning = 0
•   z_e = 1 - (σ_neg + 2 * σ_pos) / (σ_neg + σ_pos) * eig.b / 3 # zwaartepunt
•   # Bepalen classificatie
•   c = eig.b - 2 * (eig.t + eig.ri)
•   ε = sqrt(235 / f_y)
•   ψ = 1 - 1 / α
•   bounds =
•     α > 0.5 ?
•     [ # α > 0.5
•       0.0,
•       396 * ε / (13 * α - 1),      # Max waarde klasse 1 - plastisch
•       456 * ε / (13 * α - 1),      # Max waarde klasse 2 - plastisch
•       42 * ε / (0.67 + 0.33 * ψ)  # Max waarde klasse 3 - elastisch
•     ] :
•     [
•       0.0,
•       36 * ε / α,                  # Max waarde klasse 1 - plastisch
•       41.5 * ε / α,                # Max waarde klasse 2 - plastisch
•       62 * ε * (1 - ψ) * sqrt(-ψ) # Max waarde klasse 3 - elastisch
•     ]
•   # Interpoleer waardes
•   itp = LinearInterpolation(bounds, 1:4, extrapolation_bc=Line())
•   return itp(c/eig.t)
• end
```

klasse =

	check	klasse
--	-------	--------

1	:GGT	1.72727
2	:GGT_K	1.72727
3	:UGT	1.72727

De kolom **Kolom 3** van het type **SHS 140/5** in staalkwaliteit S235 is van **klasse 1 en 1 en 1** in respectievelijk **GGT en GGT_K en UGT**.

(naam = "SHS 140/5", kwaliteit = "S235", beschrijving = "Kolom 3", knikkromme = :a)

• kolom

Controle

Aftoetsen van de interne krachten en vervormingen

Controles

Maak gebruik van *enumerate* Check met waarde *false* of *true*

(1.0, 1.0, 1.25)

• $\gamma_{M0}, \gamma_{M1}, \gamma_{M2} = 1.00, 1.00, 1.25$

Uiterste grenstoestanden :UGT

Selecteer de abscis $t =$ 0.0

Doorsnede controle

UGT =

DataFrameRow (4 columns)

	N	V	M	v
	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...
1	#101	#101	#101	#101

• `UGT = opl[opl.check .== :UGT, [:N, :V, :M, :v]] |> first`

Axiale druk

Berekening volgens *NBN EN 1993-1-1 §6.2.4*

$N_{Ed} = 328.105$

• $N_{Ed} = UGT.N() \text{ \# } kN$

$N_{cRd} = 628.155$

• $N_{cRd} = eig.A * f_{yk} / \gamma_{M0} / 1000 \text{ \# } kN$

UC_N =

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{328.1}{628.2} = 0.52 \rightarrow \text{OK}$$

• `UC_N = UC(md"$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}}$", N_Ed, N_cRd)`

Buigend moment

Berekening volgens *NBN EN 1993-1-1 §6.2.5* mits in acht name van factor ρ voor combinatie met *Dwarskracht* volgens *NBN EN 1993-1-1 §6.2.8*

$M_{Ed} = 3.107883472222223$

• $M_{Ed} = abs(UGT.M(t_)) \text{ \# } kNm$

$M_{cRd} = 31.678$

• $M_{cRd} = eig.Wpl * 10^3 * (1 - \rho) * f_{yk} / \gamma_{M0} / 10^6 \text{ \# } kNm$

UC_M =

$$UC = \frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} = \frac{3.1}{19.9} = 0.16 \rightarrow \text{OK}$$

• $UC_M = UC(\text{"$\frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}}$"}, M_{Ed}, M_{NRd})$

Reductie M_{Rd} bij aanwezigheid van een normaalkracht

Toepasbaarheid

Onderstaande uiteenzetting geldt enkel voor profielen van **klasse 1 en 2**, zie NBN EN 1993-1-1 §6.2.9.2-3 voor doorsneden van klasse 3 en 4. Ook is in onderstaande uitgegaan van één-assige buiging voor een kolom SHS (dus **stijfheid** in de **twee richting gelijk**)

$M_{NyRd} = 19.86090842131107$

• $M_{NyRd} = \min(M_{cRd} * (1 - n) / (1 - 0.5 * a_w), M_{cRd})$ # *kNm - y-richting*

$M_{NzRd} = 19.86090842131107$

• $M_{NzRd} = \min(M_{cRd} * (1 - n) / (1 - 0.5 * a_f), M_{cRd})$ # *kNm - z-richting*

$M_{NRd} = 19.86090842131107$

• $M_{NRd} = \min(M_{NyRd}, M_{NzRd})$ # *Weerstand in de zwakke richting*

$a_w = 0.47624392068836513$

• $a_w = \min((eig.A - 2 * eig.b * eig.t) / eig.A, 0.5)$ # *Gewalst buisprofiel*

$a_f = 0.47624392068836513$

• $a_f = \min((eig.A - 2 * eig.b * eig.t) / eig.A, 0.5)$ # *Gewalst buisprofiel h=b*

$n = 0.5223312717402553$

• $n = N_{Ed} / N_{cRd}$

Dwarskracht (afschuiving)

Berekening volgens NBN EN 1993-1-1 §6.2.6

Toepasbaarheid

Onderstaande formule is enkel van toepassing voor **klasse 1 en 2**, voor de elastische berekeningsmethode voor $V_{c,Rd}$ wordt voor het **kritiek punt** in de doorsnede de onderstaande vergelijking getest met S het statisch moment rond het beschouwde punt en t de dikte ervan.

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1.0 \text{ met } \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I t}$$

$$V_{Ed} = 3.149053735632185$$

$$\bullet V_{Ed} = \text{abs}(\text{UGT.V}(\text{t}_-)) \# \text{ kN}$$

$$V_{plRd} = 314.195$$

$$\bullet V_{plRd} = \text{eig.A} * f_{yk} / \gamma_{M0} / 1000 \# \text{ kN}$$

$$UC_V =$$

$$UC = \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{3.1}{314.2} = 0.01 \rightarrow \text{OK}$$

$$\bullet UC_V = UC(\text{md}\$ \backslash \text{dfrac}\{V_{\{Ed\}}\}\{V_{\{c,Rd\}}\}\$, V_{Ed}, V_{plRd})$$

$$\rho = 0$$

$$\bullet \rho = V_{Ed} / V_{plRd} < 0.5 ? 0 : ((2 * V_{Ed}) / V_{plRd} - 1)^2$$

Wringing (torsie)

Berekening volgens NBN EN 1993-1-1 §6.2.7

Geen wringing

Geen wringing (torsie) grijpt aan. De eenheidscontrole (UC) voldoet

$$UC_T =$$

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{N,Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{2.7001086e6}{3.9198117e6} = 0.69 \rightarrow \text{OK}$$

$$\bullet UC_T = UC_N + UC_M + UC_V$$

Stabiliteit controle

Controle van de knikstabiliteit volgens NBN EN 1993-1-1 §6.3.1

Knikstabiliteit bij op druk belaste staven

Volgens NBN EN 1993-1-1 §6.3.1.1

Toepasbaarheid

Onderstaande uiteenzetting geldt enkel voor staven van **klasse 1, 2 en 3**

$$N_{bRd} = 364.28774729599945$$

$$\bullet N_{bRd} = \chi_- * \text{eig.A} * f_{yk} / \gamma_{M1} / 1000 \# \text{ kN}$$

Bepalen *reductiefactor* voor **knik**

$$\chi_- = 0.579932894422554$$

$$\bullet \chi_- = \min(1 / (\phi_- + \sqrt{\phi_-^2 - \lambda_-^2}), 1) \# \text{ reductiefactor knikvorm}$$

```
phi_ = 1.2282765201318644
```

```
• phi_ = 0.5 * (1 + alpha_ * (lambda_ - 0.2) + lambda_ ^ 2)
```

```
lambda_ = 1.1236488677664294
```

```
• lambda_ = sqrt( eig.A * f_yk / N_cr / 1000 ) # rel. slankheid - klasse 1, 2 en 3  
doorsneden
```

```
alpha_ = 0.21
```

```
• alpha_ = getproperty(imperfectie, kolom[:knikkromme]) # imperfectiefactor
```

```
N_cr = 497.51431816727944
```

```
• N_cr = pi ^ 2 * ((try eig.Iz catch; eig.I end) * E * 10^-3) / L_cr ^2 # kN -  
Eulerknik
```

```
L_cr = 5.8
```

```
• L_cr = 2 * geom[:L] # m - Kniklengte, kolom onderaan vast, bovenaan vrij
```

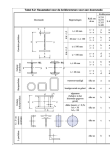
De imperfectiefactor α is in overeenstemming met de knikkromme volgens Tabel 6.2 in NBN EN 1993-1-1. **Knikeffecten** kunnen worden **verwaarloost indien**

$$\bar{\lambda} \leq 0.2 \text{ of } \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0.04$$

```
imperfectie =
```

```
DataFrameRow (5 columns)
```

	ao	a	b	c	d
	Float64	Float64	Float64	Float64	Float64
1	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76



```
Foldable("Table 6.2 in NBN EN 1993-1-1 §6.3.3",
```

```
UC_Nstab =
```

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{328.1}{364.3} = 0.9 \rightarrow \text{OK}$$

Kipstabiliteit bij op buiging belaste staven

Volgens NBN EN 1993-1-1 §6.3.2

Toepasbaarheid

Onderstaande uiteenzetting geldt enkel voor staven van **klasse 1 en 2** waarbij voor het weerstandsmoment het plastische weerstandsmoment $W_{pl,y}$ mag gehanteerd worden.

$M_{bRd} = 31.678$

- $M_{bRd} = \chi_{LT} * eig.W_{pl} * 10^3 * f_{yk} / \gamma_{M1} / 10^6 \text{ \# kNm}$

Bepalen *reductiefactor* χ_{LT} voor **kip** waarbij LT staat voor *lateral torsional* buckling

$\chi_{LT} = 1.0$

- $\chi_{LT} = \min(1 / (\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}), 1.0) \text{ \# Reductiefactor kip}$

$\phi_{LT} = 0.49458268244981063$

- $\phi_{LT} = 0.5 * (1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2)$

Eenvoudige benadering λ_{LT} volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - Bijlage H.

$\lambda_{LT} = 0.10040293303558566$

- $\lambda_{LT} = \sqrt{(eig.W_{pl} * f_{yk}) / M_{cr} / 1000} \text{ \# relatieve slankheid}$

$\alpha_{LT} = 0.21$

- $\alpha_{LT} = \text{getproperty}(\text{imperfectie}, :a) \text{ \# imperfectiefactor}$

Berekening M_{cr} volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - Bijlage E.

Dubbelsymmetrische dwarsdoorsnede (§3 Bijlage E)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{k_z}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_T}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2 \right]} - C_2 z_g \right\}$$

Eenheden eigenschappen

Als brondbestand voor de liggers, werd een overzichtstabel van Areloc Mittal gehanteerd. Als bronbestand voor de kolommen, werd een lijst van **eurocodeapplied** gehanteerd. Controleer of er geen vergroting van de parameters moet toegepast worden.

`M_cr = 3142.425242305522`

- *#M_cr = eig.Wpl * f_yk / 1000 # kNm - Kritisch moment; SHS niet kip gevoelig*
- *M_cr = C_1 * (π ^ 2 * ((try eig.Iz catch; eig.I end) * E * 10^-3)) / (k_z * L_steun)^2 * (sqrt((k_z / k_ω)^2 * (try eig.Iw * 10^3 catch; 0 end) / (try eig.Iz catch; eig.I end) + (k_z * L_steun) ^2 * G * eig.IT / (π^2 * E * (try eig.Iz catch; eig.I end) * 10^3) + (C_2 * z_g)^2) - C_2 * z_g)*

`L_steun = 2.9`

- *L_steun = geom[:L] # Lengte van de ligger tussen punten met zijdelingse steun*

`k_z = 0.7`

- *# Effectieve lengtefactor k_z = betrekking tot einddraaiing in het vlak*
- *# - 0.5 volledig ingeklemd*
- *# - 0.7 één einde ingeklemd, één zijde vrije*
- *# - 1.0 volledig gebrek aan inklemming*
- *k_z = 0.7 # Onderaan ingeklemd*

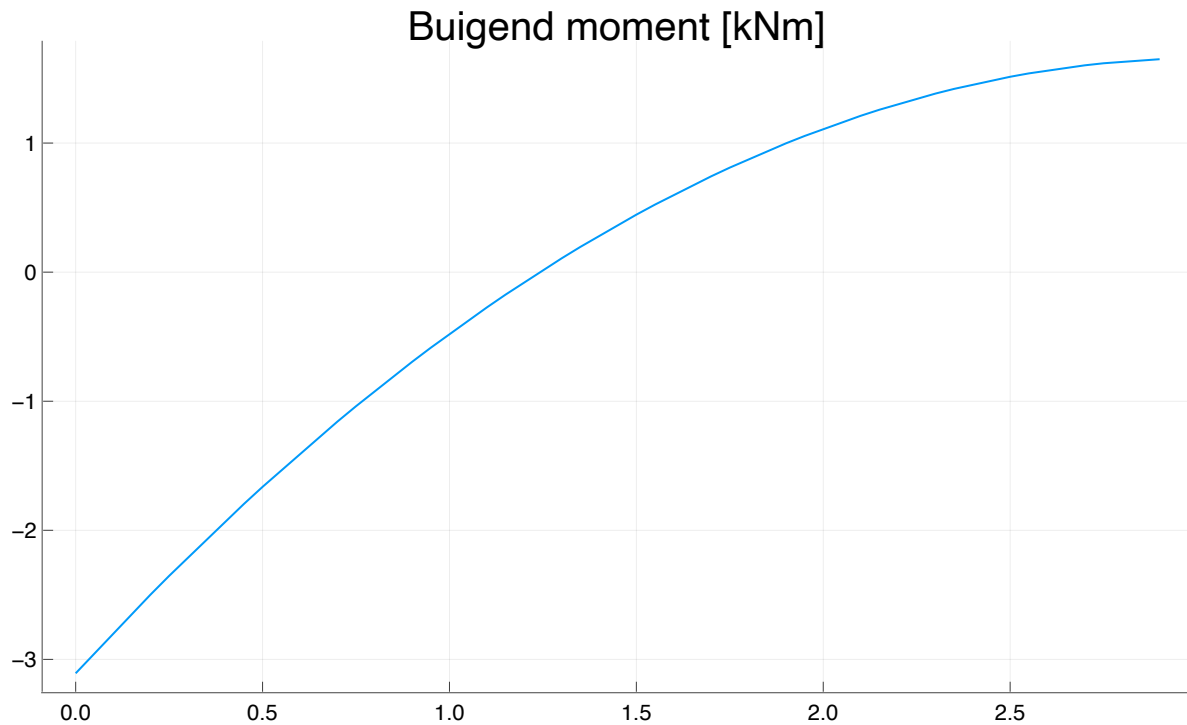
`k_ω = 1.0`

- *# Effectieve lengtefactor k_ω = betrekking tot welving van het uiteinde*
- *# - 0.5 volledig ingeklemd*
- *# - 0.7 één einde ingeklemd, één zijde vrije*
- *# - 1.0 volledig gebrek aan inklemming*
- *k_ω = 1.0 # Kolom kan aan uiteindes niet welven door druk*

`z_g = 0`

- *z_g = 0 # z_a - z_s = verschil belastingspunt tot het zwaartepunt*

Berekening van de factoren C_1 , C_2 en C_3 volgens de tabellen *Tabel E.1 ANB* en *Tabel E.2 ANB*



```

• begin
•   UGT_M = UGT.M.(0:0.05:geom[:L])
•   UGT_Mmax, UGT_M1, UGT_M2 = maximum(UGT_M), UGT_M[1], UGT_M[end]
•   # ψ is de verhouding tussen de eindmomenten, M is het max eindmoment
•   ψ = abs(UGT_M1) > abs(UGT_M2) ? UGT_M2 / UGT_M1 : UGT_M1 / UGT_M2
•   plot(0:0.05:geom[:L], UGT_M, title="Buigend moment [kNm]", legend=false)
• end

```

$\Psi_f = 0$

```

•  $\Psi_f = 0$  # Voor dubbelsymmetrische doorsneden

```

De verhouding tussen de eindmomenten ψ is gelijk aan -0.531.

Lees de waarden van C_1 , C_2 en C_3 af op onderstaande grafieken indien afkomstig uit zuiver **eindmomenten** of **krachten** (lijn-/puntbelasting) in de dwarsrichting.

```

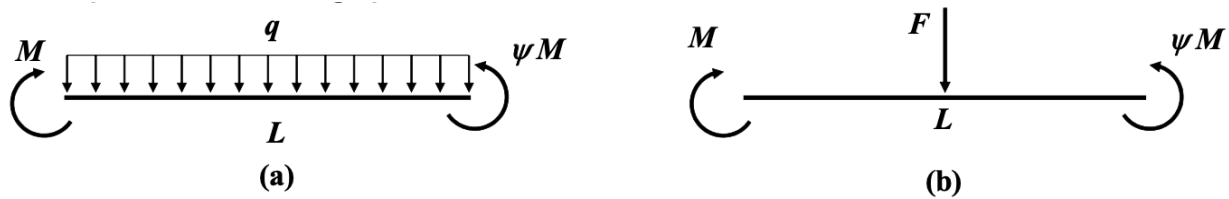
• # Indien  $k_z = 1.0$ , volledig gebrek aan inklemming
• # Benaderde waarde van  $C_1$  via onderstaande formule
• #  $C1 = \min(1.77 - 1.04 * \psi + 0.27 * \psi^2, 2.60)$ 

```

Foldable("Tabel E.1 volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - Belasting door eindmomenten",

Foldable("Tabel E.2 volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - Belasting in dwarsrichting",

Indien het momentverloop is ontstaan uit het **gecombineerd effect** van zowel belastingen door **eindmomenten** (inklemming) als door **lijn- en puntbelastingen**, dan worden de figuren E.3 ANB tot E.10 ANB gehanteerd.



Figuur E.2 ANB: Eindmomenten gecombineerd met een dwarse belasting

Hierbij worden volgende parameters berekend, waarbij M voor het maximale **eindmoment** staat:

$$\mu = \frac{q L^2}{8 M} \text{ (a) of } \frac{F L}{4 M} \text{ (b)}$$

$\mu = 0.3250947587183252$

• $\mu = (\text{UGT_M}[\text{div}(\text{end}, 2)] - (\text{UGT_M1} + \text{UGT_M2}) / 2) / \text{maximum}(\text{abs}([\text{UGT_M1}, \text{UGT_M2}]))$

In geval van de berekening van de kolommen, nemen we altijd een **positieve** waarde aan van μ , gezien dit leidt tot de kleinste waarden voor de constanten C_1 tot C_3 , immers zijn de buigende momenten afkomstig van geometrische imperfecties en kunnen die elkaars effecten versterken.

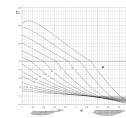
Herevalueer parameters

Bij een wijziging van de belastingen dienen de parameters C_1 en C_2 opnieuw geëvalueerd worden

Bepaal de coëfficiënten voor $\mu = 0.325$ en $\psi = -0.531$

$C_1 = 1.55$

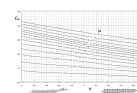
• $C_1 = 1.55$ # Zie volgende figuur



Foldable("Figuur E.3 volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - $\mu > 0$ ", )

$C_2 = 0.18$

• $C_2 = 0.18$ # Zie volgende figuur



Foldable("Figuur E.5 volgens NBN EN 1993-1-1 ANB - $\mu > 0$ ", )

De imperfectiefactor $\alpha_L T$ is in overeenstemming met de kipkromme volgens Tabel 6.3 in *NBN EN 1993-1-1*. **Kipeffecten** kunnen worden **verwaarloost indien**

$$\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} \text{ of } \frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$$

Waarin $\bar{\lambda}_{LT,0}$ volgens *NBN EN 1993-1-1* §6.3.2.3 gelijk is aan 0.4

`imperfectie_LT =`

DataFrameRow (4 columns)

	a	b	c	d
	Float64	Float64	Float64	Float64
1	0.21	0.34	0.49	0.76

`UC_Mstab =`

$$UC = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{3.1}{31.7} = 0.1 \rightarrow \text{OK}$$

Prismatische, op buiging en druk belaste staven

Volgens *NBN EN 1993-1-1* §6.3.3

Toepasbaarheid

Onderstaande uiteenzetting geldt enkel voor staven van **klasse 1 en 2** waarbij voor het weerstandsmoment het plastische weerstandsmoment $W_{pl,y}$ mag gehanteerd worden.

Staven die aan gecombineerde buiging en druk zijn onderworpen behoren te voldoen aan:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

Merk op dat bovenstaande vergelijking een vereenvoudiging is van formule 6.62 en 6.63 uit *NBN EN 1993-1-1* gezien voor een **SHS** profiel de sterkte in beide richtingen gelijk is. De parameter k_{yy} is een interactiefactor, berekend volgens **bijlage A** (Alternatieve methode 1 normatief). De bijlage is herschreven en toegevoegd als **Bijlage D** in *NBN EN 1993-1-1 ANB*. De parameter $\Delta M_{y,Ed}$ voor een profiel van **klasse 1 tot 3** is gelijk aan 0

Stap 1 - Onderscheid staven gevoelig of niet aan torsie

Volgens *NBN EN 1993-1-1 ANB Bijlage D*

Is de staaf **torsie gevoelig**?

```
torsie_gevoelig = false
```

```
• torsie_gevoelig = begin
•   if eig.IT > eig.I * 1000
•       false # Niet gevoelig voor vervorming door torsie
•   else
•       if  $\lambda_{LT0} \leq 0.2 * \sqrt{C_1} * ((1 - N_{Ed} / N_{crz}) * (1 - N_{Ed} / N_{crTF}))^{1/4}$ 
•           false # Niet gevoelig voor vervorming door torsie
•       else
•           true # Gevoelig voor vervorming door torsie
•       end
•   end
• end
```

```
 $\lambda_{LT0} = 0.12316679389265593$ 
```

```
•  $\lambda_{LT0} = \min(\sqrt{eig.Wpl * f_{yk} / M_{cr0} / 1000}, 0.4)$  # §6.3.2.3 uit NBN EN 1993-1-1
```

```
 $M_{cr0} = 2088.1922577901205$ 
```

```
•  $M_{cr0} = 1.03 * (\pi^2 * ((try\ eig.Iz\ catch;\ eig.I\ end) * E * 10^{-3})) / (k_z * L_{steun})^2 * \sqrt{(k_z / k_{\omega})^2 * (try\ eig.Iw * 10^3\ catch;\ 0\ end) / (try\ eig.Iz\ catch;\ eig.I\ end) + (k_z * L_{steun})^2 * G * eig.IT / (\pi^2 * E * (try\ eig.Iz\ catch;\ eig.I\ end) * 10^3)}$ 
```

Berekening **kritieke elastische kracht** met betrekking tot de **torsieknikstabiliteit** $N_{cr,TF}$ en **Euleriaanse elastische knikkracht** $N_{cr,z}$ om de z-as volgens NBN EN 1993-1-1 ANB Bijlage F. Merk op, onderstaande berekening is enkel geldig voor een prismatische doorsnede waarbij het zwaartepunt van de doorsnede samenvalt met het torsiecentrum. In onderstaande berekening wordt voor gesloten kokerprofielen de welvingconstante gelijk gesteld aan 0.

```
 $N_{crTF} = 167503.33174565376$ 
```

```
•  $N_{crTF} = 1 / (r_0^2) * (G * eig.IT * 10^3) / 1000$  # kN
```

```
 $r_0 = 77.72966284723567$ 
```

```
•  $r_0 = try\ \sqrt{(eig.Iy + eig.Iz) * 10^6 / eig.A}\ catch;\ \sqrt{(2 * eig.I) * 10^6 / eig.A}\ end$ 
```

De relevante kniklengte L_{cr} is gelijk aan $2 \times$ **de lengte van de kolom** omdat deze onderaan als ingeklemd wordt beschouwd, en bovenaan als vrij. Dit is een conservatieve benadering.

5.8

```
•  $L_{cr}$ 
```

```
 $N_{crz} = 497.51431816727944$ 
```

```
•  $N_{crz} = N_{cr}$ 
```

De factor C_1 hangt af van de **belasting** en de **randvoorwaarden** van de **oplegging** en is bepaald volgens NBN EN 1993-1-1 ANB Bijlage E

Stap 2.a - Staaf niet gevoelig voor torsie

Volgens NBN EN 1993-1-1 ANB Bijlage D.

We hernemen formules (6.61) en (6.62) uit NBN EN 1993-1-1 en passen hier alle randvoorwaarden op toe. Prismatische dubbelsymmetrische koker met sterkte in beide assen gelijk.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + \mu_y \left[C_{my} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq 1$$

Bovenstaande wordt opgesplitst in de eenheidscontrole voor **enkel druk** en het aangrijpen van **enkel een buigend moment**, de overige waardes worden samengevoegd tot een **interactiefactor** k_{yy} uit de **Alternatieve methode 2**, we verwijzen dan ook verder naar k_{yy} als naam voor deze term.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\mu_y C_{my} \chi_{LT}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$\mu_y = 0.5513990197861727$

• $\mu_y = (1 - N_{Ed} / N_{cr}) / (1 - \chi_{LT} * N_{Ed} / N_{cr})$

De waarde voor de factor C_{my} wordt afgeleid van Tabel D.1 ANB. Voor een staaf niet gevoelig voor torsie is $C_{my} = C_{my,0}$.



Foldable("Tabel D.5 volgens NBN EN 1993-1-1 ANB",

$C_{my0} = 0.3405114425477075$

• $C_{my0} = 1 + (\pi^2 * E * (\text{try eig.Iy catch; eig.I end}) * 10^{(-3)} * \text{maximum}(UGT.v. (0:0.05:geom[:L]))) / (geom[:L]^2 * UGT_Mmax) - 1) * N_{Ed} / N_{cr}$

Interactiefactor C_{yy} die een maat is voor de hoeveelheid plasticiteit in de staafdoorsnede bij bezwijken.

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$C_{yy0} = 1.1423413804641263$

• $C_{yy0} = \max(1 + (w_y - 1) * ((2 - (1.6 / w_y * C_{my0}^2) * (\lambda_{max} + \lambda_{max}^2)) * n_{pl}), \text{eig.Wel} / \text{eig.Wpl})$

$w_y = 1.1681109185441942$

• $w_y = \min(\text{eig.Wpl} / \text{eig.Wel}, 1.5)$

$\lambda_{\max} = 1.1236488677664294$

• $\lambda_{\max} = \text{try } \max(\lambda_y, \lambda_z) \text{ catch; } \lambda_{\text{end}}$

$n_{pl} = 0.5223312717402553$

• $n_{pl} = N_{Ed} / N_{cRd} / \gamma_{M1}$

$k_{yy_a} =$

$$\frac{\mu_y C_{my} \chi_{LT}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} = 0.483$$

Stap 2.b - Staaf gevoelig voor torsie

Volgens NBN EN 1993-1-1 ANB Bijlage D

We hernemen formules (6.61) en (6.62) uit NBN EN 1993-1-1 en passen hier alle randvoorwaarden op toe. Prismatische dubbelsymmetrische koker met sterkte in beide assen gelijk.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + \mu_y \left[\frac{C_{mLT} C_{my}}{\chi_{LT}} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq 1$$

Bovenstaande wordt opgesplitst in de eenheidscontrole voor **enkel druk** en het aangrijpen van **enkel** een **buigend moment**, de overige waarden worden samengevoegd tot een **interactiefactor** k_{yy} uit de **Alternatieve methode 2**, we verwijzen dan ook verder naar k_{yy} als naam voor deze term.

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + \frac{\mu_y C_{mLT} C_{my}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$C_{my} = 0.11069690677231928$

• $C_{my} = C_{my0} + (1 - C_{my0}) * (\text{sqrt}(\epsilon_y) * a_{LT}) / (1 + \text{sqrt}(\epsilon_y) * a_{LT})$

$\epsilon_y = 0.21940424610051995$

• $\epsilon_y = M_{Ed} / N_{Ed} * \text{eig.A} / \text{eig.Wel} \# \text{ Voor klasse 1, 2 of 3}$

$a_{LT} = -0.5517027863777091$

• $a_{LT} = 1 - \text{eig.IT} / ((\text{try eig.Iy catch; eig.I end}) * 1000)$

Interactiefactor C_{yy} die een maat is voor de hoeveelheid plasticiteit in de staafdoorsnede bij bezwijken.

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$$

$$C_{yy} = 1.1721022625191997$$

$$C_{yy} = \max(1 + (w_y - 1) * ((2 - (1.6 / w_y * C_{my}^2) * (\lambda_{max} + \lambda_{max}^2)) * n_{pl} - b_{LT}), eig.Wel / eig.Wpl)$$

$$b_{LT} = 0$$

$$b_{LT} = 0 \text{ \# Maar buiging in 1 richting}$$

De factor C_{mLT} dekt de invloed van de normaalkracht en van de doorsnede vorm op de kipweerstand.

$$C_{mLT} = -0.011596743662172549$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 * a_{LT} / \sqrt{(1 - N_{Ed} / N_{cr}) * (1 - N_{Ed} / N_{crTF})}$$

$$k_{yy_b} =$$

$$\frac{\mu_y C_{mLT} C_{my}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} = -0.002$$

Unity check

Onderstaande vorm aangehouden omdat dit in overeenstemming is met *Alternatieve methode 2* opgenomen in *NBN EN 1993-1-1 Bijlage B*. De controle zelf is wel uitgevoerd volgens *Alternatieve methode 1* omdat deze normatief is in België.

$$UC_{MNstab} =$$

$$UC = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} + \frac{\mu_y C_{my} \chi_{LT}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) C_{yy}} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{10940.2}{11539.9} = 0.95 \rightarrow \text{OK}$$

$$UC_{MNstab} = \text{torsie_gevoelig} ? UC_{Nstab} + k_{yy_b} * UC_{Mstab} : UC_{Nstab} + k_{yy_a} * UC_{Mstab}$$

Bruikbaarheidsgrenstoestanden :GGT

Selecteer de abscis $t =$

Horizontale verplaatsing

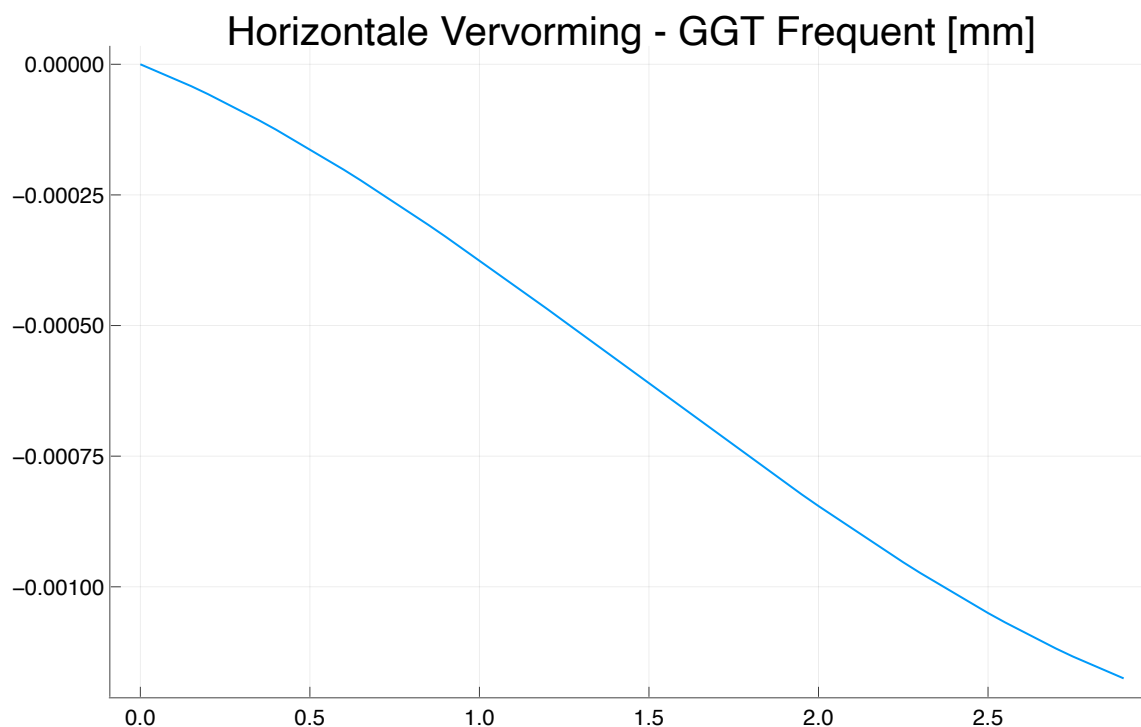
Volgens *NBN EN 1993-1-1 §7.2.2* met verwijzing naar *NBN EN 1990 - bijlage A1.4*. In de nationale bijlage (ANB) wordt verwezen naar de norm *NBN B 03-003* die toegepast dient te worden in België. Grenswaarden van de vervorming wordt vastgelegd in tabel 3 onder §7.

GGT_F =

DataFrameRow (7 columns)

	check	N	V	M	α	v	σ
	Symbol	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...
1	GGT	#101	#101	#101	#101	#101	#101

```
• GGT_F = opl[opl.check .== :GGT,:] |> first
```



GGT_K_vmax = 0.001405348857192

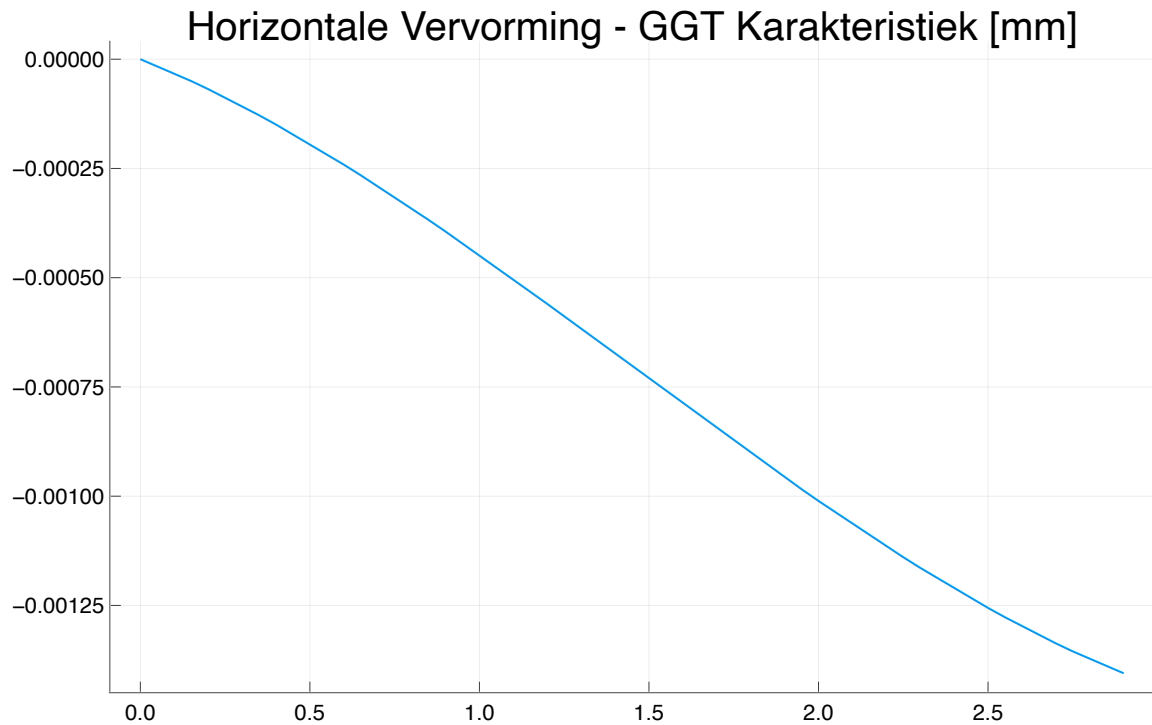
```
• GGT_K_vmax = maximum(extrema(GGT_K.v.(0:0.05:geom[:L]))) .|> abs)
```

GGT_K =

DataFrameRow (7 columns)

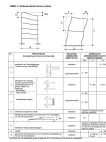
	check	N	V	M	α	v	σ
	Symbol	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...	#101#10...
1	GGT_K	#101	#101	#101	#101	#101	#101

```
• GGT_K = opl[opl.check .== :GGT_K,:] |> first
```



```
GGT_F_vmax = 0.001175295950169541
```

```
• GGT_F_vmax = maximum(extrema(GGT_F.v.(0:0.05:geom[:L])) .|> abs)
```



```
Foldable("Afdruk NBN B 03-003 Tabel 3",
```

```
UC_v =
```

$$UC = \frac{v_{max}}{h_1 / 250} = \frac{1.2}{11.6} = 0.1 \rightarrow \text{OK}$$

Achterliggende berekeningen

Hieronder worden algemene controles uitgewerkt

Dependencies en hulpfuncties

```
• using PlutoUI , ImageView , Images , Plots , SymPy , Luxor , SQLite ,  
DataFrames , Underscores , Interpolations , PlutoTest
```

Laad de database in

```
db = SQLite.DB("assets/db/db.sqlite")
```

- `db = SQLite.DB("assets/db/db.sqlite")`

Start de plotly backend

```
PlotlyBackend()
```

- `plotly()`

Eigen Check type met ook een eigen uitdraai

- `using UUIDs`

- `@enum Check OK=true NOK=false`

```
• function Base.show(io::IO, mime::MIME"text/html", c::Check)
•     id = UUIDs.uuid4().value
•     color = (c == Check(false)) ? "crimson" : "yellowgreen"
•     Base.write(io, """
•         <style>
•             .marked-$id {
•                 color: white;
•                 background-color: $(color);
•                 padding: 0 2px;
•             }
•         </style>
•         <mark class="marked-$id">$(string(c))</mark>
•         """)
• end
```

Definieer een nieuwe type getiteld *Unity Check* of UC

- `struct UC`
- `beschrijving::Markdown.MD`
- `waarde::Float64 # teller`
- `limiet::Float64 # noemer`
- `end`

- `struct Constant`
- `beschrijving::Markdown.MD`
- `waarde::Real`
- `end`

```

• function Base.show(io::IO, mime::MIME"text/html", uc::UC)
•     afronden = t -> (d -> round(d, digits=t))
•     subs = Dict{
•         "beschrijving" => uc.beschrijving.content[1].formula,
•         "waarde" => uc.waarde |> afronden(1),
•         "limiet" => uc.limiet |> afronden(1),
•         "uc" => (uc.waarde / uc.limiet) |> afronden(2)
•     }
•     format = raw"\text{UC} = beschrijving = \dfrac{waarde}{limiet} =
uc\rightarrow$"
•
•     Base.write(io, """
•         <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">
•             <div>
•
•             """
•         show(io, mime, Markdown.parse(
•             replace(format, r"beschrijving|waarde|limiet|uc" => s -> subs[s]))
•         )
•         Base.write(io, """
•             </div>
•             <div style="flex: 1; padding-left: 2px;">
•
•             """
•         show(io, mime, Check(subs["uc"] <= 1))
•         Base.write(io, """
•             </div>
•         </div>
•         """
•     )
• end

```

```

• function Base.show(io::IO, mime::MIME"text/html", c::Constant)
•     afronden = t -> (d -> round(d, digits=t))
•
•     show(io, mime, Markdown.MD(
•         Markdown.LaTeX(
•             string(
•                 first(c.beschrijving.content).formula,
•                 "=",
•                 c.waarde |> afronden(3)
•             )
•         )
•     )
• )
• end

```

```

• Base.copy(uc::UC) = UC(uc.beschrijving, uc.waarde, uc.limiet)

```

Algemene functies om somaties van `Markdown.MD` types mogelijk te maken, alsook de sommatie van de *custom UC struct*

```

• function Base.:+(uc1::UC, uc2::UC)::UC
•     c1, c2 = getproperty.([uc1, uc2], :beschrijving)
•     w1, w2 = getproperty.([uc1, uc2], :waarde)
•     l1, l2 = getproperty.([uc1, uc2], :limiet)
•     return UC(c1 + c2, w1 * l2 + w2 * l1, l1 * l2)
• end

```

```

• function Base.:+(md1::Markdown.MD, md2::Markdown.MD)::Markdown.MD
•     pgs1, pgs2 = md1.content, md2.content
•     if length(pgs1) == 1 && length(pgs2) == 1
•         pg1, pg2 = (pgs1, pgs2) .|> first
•         tp1, tp2 = (pg1, pg2) .|> typeof
•         if all((tp1, tp2) .== Markdown.LaTeX)
•             c1, c2 = getproperty.([pg1, pg2], :formula)
•             return Markdown.MD(Markdown.LaTeX(string(c1,"+",c2)))
•         elseif all((tp1, tp2) .== Markdown.Paragraph)
•             c1, c2 = getproperty.([pg1, pg2], :content) .|> first
•             return Markdown.MD(Markdown.Paragraph(string(c1," ",c2)))
•         else
•             return Markdown.MD(Markdown.Paragraph("..."))
•         end
•     end
• end

```

```

• function Base.:*(md1::Markdown.MD, md2::Markdown.MD)::Markdown.MD
•     pgs1, pgs2 = md1.content, md2.content
•     if length(pgs1) == 1 && length(pgs2) == 1
•         pg1, pg2 = (pgs1, pgs2) .|> first
•         tp1, tp2 = (pg1, pg2) .|> typeof
•         if all((tp1, tp2) .== Markdown.LaTeX)
•             c1, c2 = getproperty.([pg1, pg2], :formula)
•             return Markdown.MD(Markdown.LaTeX(string(c1,raw"\cdot ",c2)))
•         elseif all((tp1, tp2) .== Markdown.Paragraph)
•             c1, c2 = getproperty.([pg1, pg2], :content) .|> first
•             return Markdown.MD(Markdown.Paragraph(string(c1," ",c2)))
•         else
•             return Markdown.MD(Markdown.Paragraph("..."))
•         end
•     end
• end

```

```

• function Base.:*(scalar::Real, uc::UC)::UC
•     beschrijving = Markdown.MD(Markdown.LaTeX("$scalar")) * uc.beschrijving
•     waarde = scalar * uc.waarde
•     return UC(beschrijving, waarde, uc.limiet)
• end

```

```

• function Base.:/(scalar::Real, uc::UC)::UC
•     beschrijving = Markdown.MD(Markdown.LaTeX(raw"\dfrac{1}{{$scalar}}")) *
uc.beschrijving
•     limiet = scalar * uc.limiet
•     return UC(beschrijving, uc.waarde, limiet)
• end

```

```

• function Base.:*(c::Constant, uc::UC)::UC
•     beschrijving = c.beschrijving * uc.beschrijving
•     waarde = c.waarde * uc.waarde
•     return UC(beschrijving, waarde, uc.limiet)
• end

```

```

• function Base.:/(c::Constant, uc::UC)::UC
•     beschrijving = c.beschrijving * uc.beschrijving
•     limiet = c.waarde * uc.limiet
•     return UC(beschrijving, uc.waarde, limiet)
• end

```

Opsplitsing in kolommen

```

• struct TwoColumn{L, R}
•   left::L
•   right::R
• end

```

```

• function Base.show(io::IO, mime::MIME"text/html", tc::TwoColumn)
•   Base.write(io, """
•     <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">
•       <div style="flex: 50%; overflow-x: scroll;">
•         """)
•       show(io, mime, tc.left)
•       Base.write(io, """
•         </div>
•         <div style="flex: 50%;">
•           """)
•           show(io, mime, tc.right)
•           Base.write(io, """
•             </div>
•             </div>
•           """)
•         end
•       end
•     end
•   end

```

Maak een html collapse element

```

• struct Foldable{C}
•   title::String
•   content::C
• end

```

```

• function Base.show(io::IO, mime::MIME"text/html", fld::Foldable)
•   Base.write(io, """
•     <details>
•       <summary>
•         $(fld.title)
•       </summary>
•       <p>
•         """)
•         show(io, mime, fld.content)
•         Base.write(io, """
•           </p>
•           </summary>
•         """)
•       end
•     end
•   end

```

Zet een NamedTuple om naar een Dict waarbij de *keys* geevalueerd zijn als *variables*

ToDict (generic function with 1 method)

```

• ToDict(r::NamedTuple) = Dict{keys(r) .|> eval .=> values(r)}

```

rnd (generic function with 1 method)

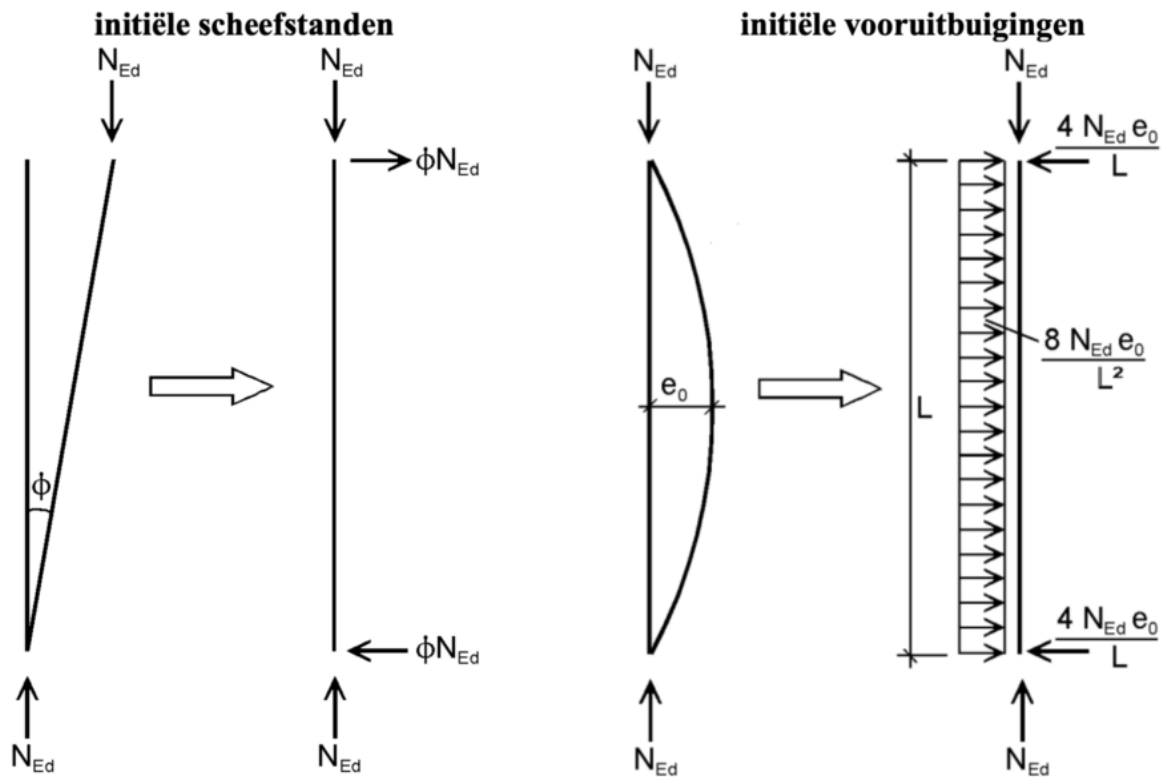
```

• rnd(n) = round(n; digits=2)

```

Belastingsschema's

De belastingsschema's worden in het algemeen uitgewerkt en het **superpositie beginstel** wordt gehanteerd om de verschillende belastingseffecten samen te stellen



• figuur5_4

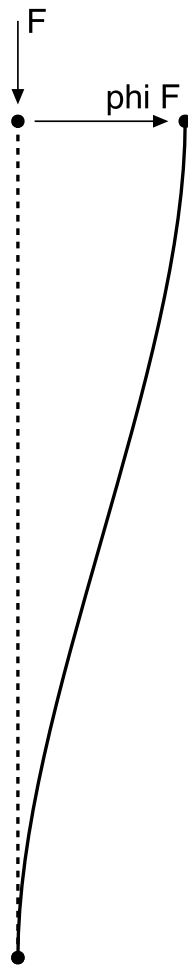
Schema 1. Ingekleemde kolom die bovenaan *vast* gehouden wordt - *Initiële vervorming*

Door de *initiële vervorming* en *initiële vooruitbuiging* worden er krachten opgewekt in de kolom.

Schema 1 begroot de interne krachswerking onder een **initiële vervorming**. De hoekverdraaiing ϕ wordt vervangen door een **equivalente horizontale puntkracht** ϕF die aangrijpt bovenaan de ligger.

$$(F, L, M_L, \phi, A, EI, I, z, t)$$

• `F, L, M_L, phi, A, EI, I, z, t = symbols("F L M_L \phi A EI I z t", real=True)`



R1H =

$$F\phi$$

R1V =

$$F$$

R1M =

$$FL\phi - M_L$$

Bepalen $N(t)$, $V(t)$ en $M(t)$

Bepalen van de interne krachswerking

$$N1 =$$

$$F$$

$$\bullet \quad N1 = F \quad \# \quad \text{Onafhankelijk van } t$$

$$V1 =$$

$$-F\phi$$

$$\bullet \quad V1 = -R1H \quad \# \quad \text{Onafhankelijk van } t$$

$$M1_ =$$

$$-FL\phi + F\phi t + M_L$$

$$\bullet \quad M1_ = -R1M + R1H * t \quad \# \quad \text{Onbekende } M_L = \text{moment die kolom recht houdt centraal}$$

$$M1 =$$

$$-\frac{FL\phi}{2} + F\phi t$$

Spanning in de doorsnede

$$\sigma1 =$$

$$\frac{z\left(-\frac{FL\phi}{2} + F\phi t\right)}{I} + \frac{F}{A}$$

$$\bullet \quad \sigma1 = M1 * z / I + N1 / A$$

Bepalen $\alpha(t)$ en $v(t)$

Bepalen van de hoekverdraaiing α en de vervorming v

$$(C, D)$$

$$\alpha1_ =$$

$$C + \frac{F\phi t^2}{2} + t(-FL\phi + M_L)$$

$$\bullet \quad \alpha1_ = \text{integrate}(M1_, t) + C1$$

$$\alpha1 =$$

$$\frac{-\frac{FL\phi t}{2} + \frac{F\phi t^2}{2}}{EI}$$

v1_ =

$$Ct + D + \frac{F\phi t^3}{6} + t^2 \left(-\frac{FL\phi}{2} + \frac{M_L}{2} \right)$$

```
• v1_ = integrate(α1_, t) + D1
```

v1 =

$$\frac{-\frac{FL\phi t^2}{4} + \frac{F\phi t^3}{6}}{EI}$$

Toepassen kinematische randvoorwaarde

Opleggen van de hoekverdraaiing op $t = L$

rvw1 = $\left[D, C, C + \frac{FL^2\phi}{2} + L(-FL\phi + M_L) \right]$

```
• rvw1 = [  
•   v1_(t=>0),  
•   α1_(t=>0),  
•   α1_(t=>L)  
• ]
```

opl1 = Dict(D C M_L)

$$\Rightarrow 0, \Rightarrow 0, \Rightarrow \frac{FL\phi}{2}$$

Schema 2. Ingeklemdde kolom die bovenaan *vast* gehouden wordt - *Initiële vooruitbuiging*

Door de *initiële vervorming* en *intitiële vooruitbuiging* worden er krachten opgewekt in de kolom.

Schema 2 begroot de interne krachtswerking onder een **initiële vooruitbuiging**. De hoekverdraaiing ϕ wordt vervangen door een **equivalente horizontale lijnbelasting** p met een grootte $8Fe_0/L^2$ die aangrijpt over de gehele kolom. Onderaan en bovenaan worden compenserende krachten voorzien.

e_0 =

$$e_0$$

```
• e_0 = symbols("e_0", real=true)
```

R2H =

$$\frac{4Fe_0}{L}$$

```
• R2H = 8 * F * e_0 / L^2 * L - 4 * F * e_0 / L # Onafhankelijk van t
```

R2V =

$$F$$

- $R2V = F$ # Onafhankelijk van t

R2M =

$$\frac{4Fe_0}{L} - M_L$$

Bepalen $N(t)$, $V(t)$ en $M(t)$

Bepalen van de interne krachswerking

N2 =

$$F$$

- $N2 = F$ # Onafhankelijk van t

V2 =

$$-\frac{4Fe_0}{L} + \frac{8Fe_0t}{L^2}$$

- $V2 = -R2H + 8 * F * e_0 / L^2 * t$ # Afhankelijk van t

M2_ =

$$\frac{4Fe_0t}{L} - \frac{4Fe_0}{L} - \frac{4Fe_0t^2}{L^2} + M_L$$

- $M2_ = -R2M + R2H * t - 8 * F * e_0 / L^2 * t * t/2$ # Afhankelijk van t

M2 =

$$\frac{4Fe_0t}{L} - \frac{4Fe_0}{L} - \frac{4Fe_0t^2}{L^2} + \frac{-2FLe_0 + 12Fe_0}{3L}$$

- $M2 = M2_(\text{opl2...})$

Spanning in de doorsnede

σ_2 =

$$\frac{z \left(\frac{4Fe_0t}{L} - \frac{4Fe_0}{L} - \frac{4Fe_0t^2}{L^2} + \frac{-2FLe_0 + 12Fe_0}{3L} \right)}{I} + \frac{F}{A}$$

- $\sigma_2 = M2 * z / I + N2 / A$

Bepalen $\alpha(t)$ en $v(t)$

Bepalen van de hoekverdraaiing α en de vervorming v

(C, D)

$\alpha2_ =$

$$C + \frac{2Fe_0t^2}{L} - \frac{4Fe_0t^3}{3L^2} + \frac{t(-4Fe_0 + LM_L)}{L}$$

• $\alpha2_ = \text{integrate}(\mathbf{M2_}, t) + \mathbf{C2}$

$\alpha2 =$

$$\frac{-\frac{2Fe_0t}{3} + \frac{2Fe_0t^2}{L} - \frac{4Fe_0t^3}{3L^2}}{EI}$$

• $\alpha2 = \alpha2_(\text{opl2}...) / EI$

$v2_ =$

$$Ct + D + \frac{2Fe_0t^3}{3L} - \frac{Fe_0t^4}{3L^2} + \frac{t^2(-4Fe_0 + LM_L)}{2L}$$

• $v2_ = \text{integrate}(\alpha2_ , t) + \mathbf{D2}$

$v2 =$

$$\frac{-\frac{2Fe_0t}{3} + \frac{2Fe_0t^2}{L} - \frac{4Fe_0t^3}{3L^2}}{EI}$$

• $v2 = \alpha2_(\text{opl2}...) / EI$

Toepassen kinematische randvoorwaarde

Opleggen van de hoekverdraaiing op $t = L$

$\mathbf{rvw2} = [D, C, C + \frac{2FLe_0}{3} - 4Fe_0 + LM_L]$

```
• rvw2 = [  
•     v2_(t => 0),  
•     α2_(t => 0),      # Geef hoekverdraaiing op t = 0  
•     α2_(t => L)       # Geef hoekverdraaiing op t = 0  
• ]
```

```
opl2 = Dict( D C M_L )
```

$$\Rightarrow 0, \Rightarrow 0, \Rightarrow \frac{-2FL e_0 + 12F e_0}{3L}$$

```
• opl2 = solve(rvw2, [C2, D2, M_L])
```