

C-BRIDGE

TETRA PROJECT



UNIVERSITEIT
GENT



wtcbe
Onderzoek • Innovatie • Interventie

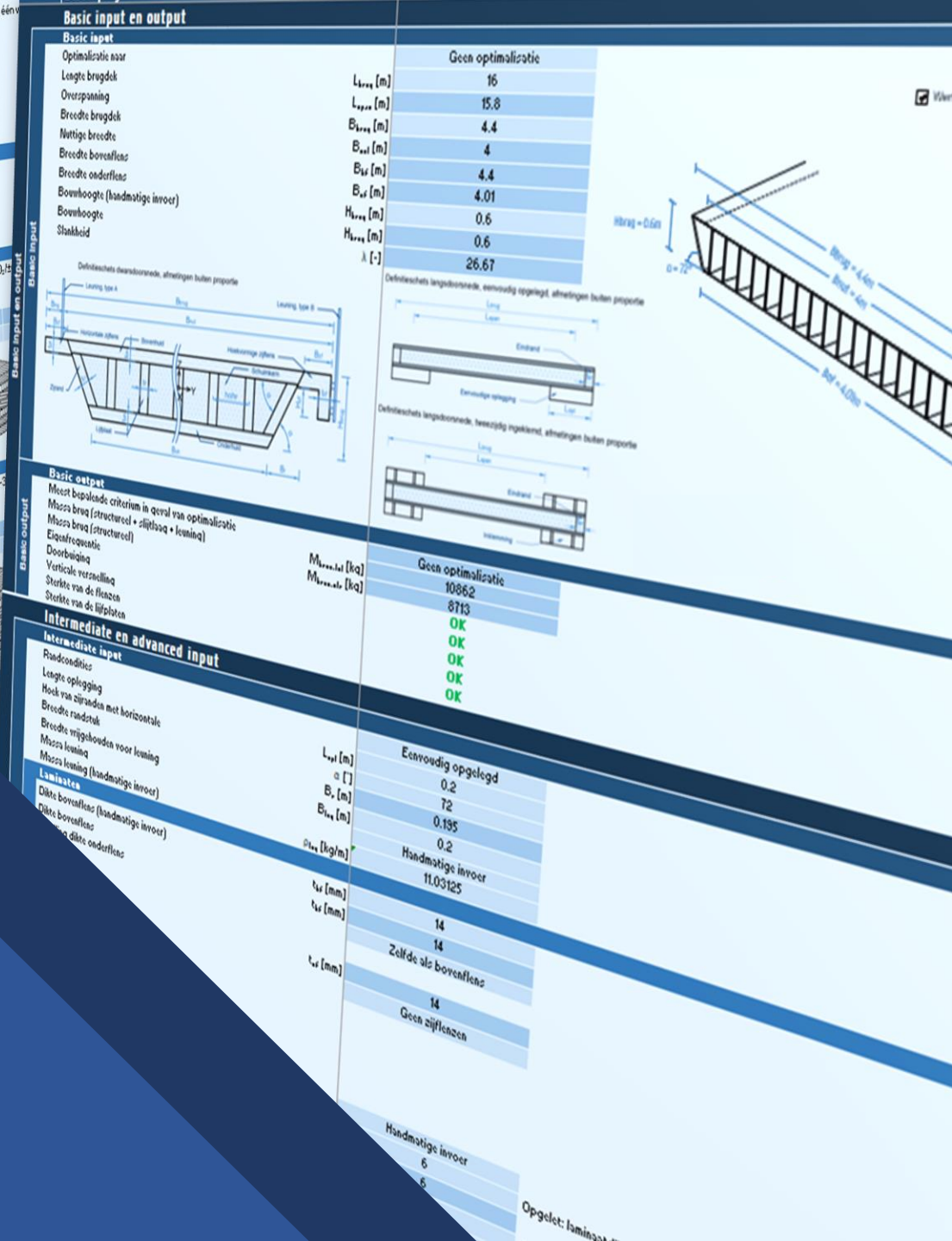
AGENTSCHAP
INNOVEREN &
ONDERNEMEN



Vlaanderen
is ondernemen

C-Bridge Rekentool & uitgewerkte cases

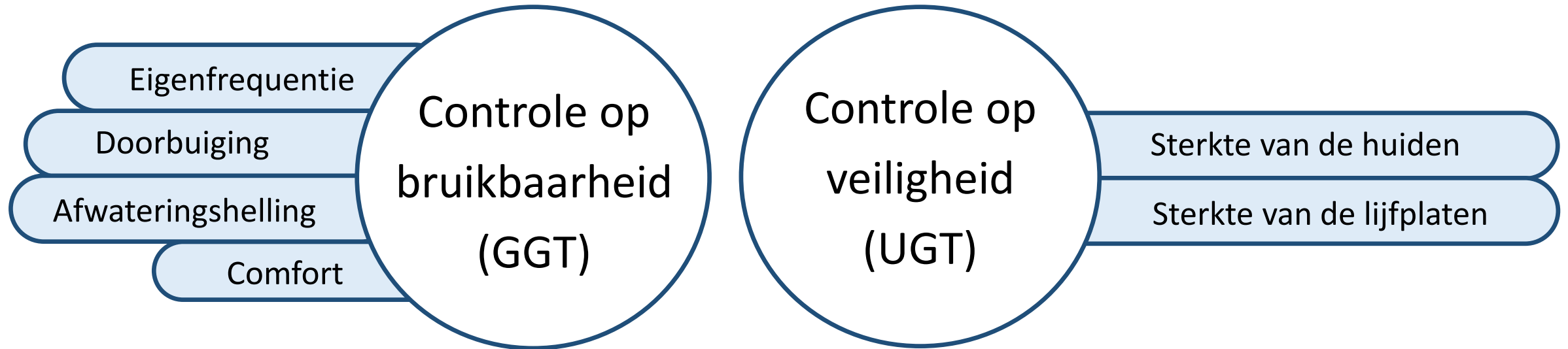
Bram Ingelbinck | 10 december 2020



Algemeen

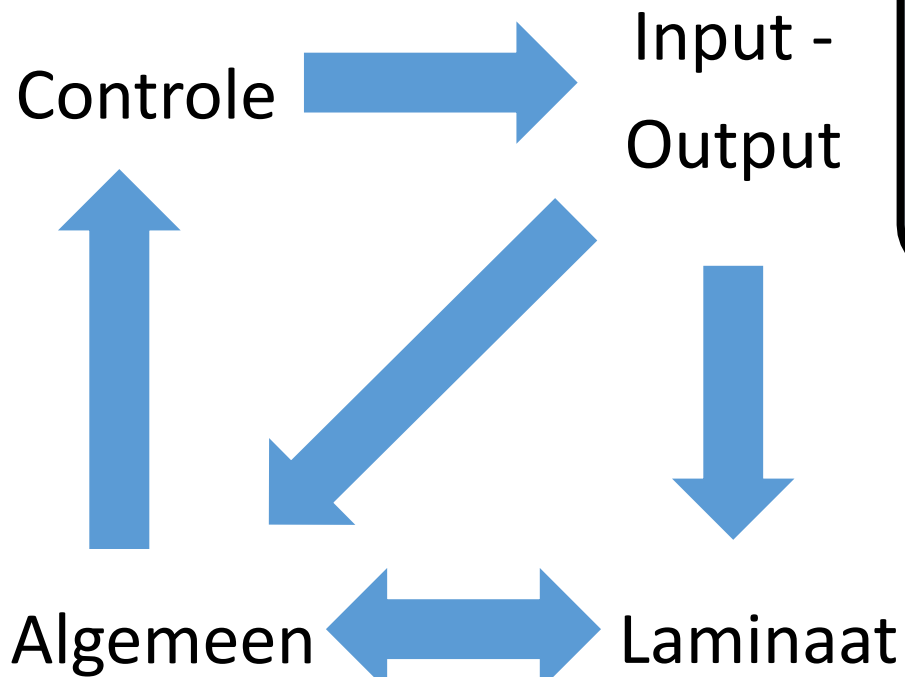
- Doel van de rekentool
 - Opgegeven ontwerpparameters
 - Toetsing criteria
 - Inschatting materiaalgebruik
 - Inschatting kostprijs
- Vrij ter beschikking na afloop C-Bridge
- MS Excel

Toetsing in GGT en UGT



Rekentool: werkwijze

Beschrijving	Symbol	Waarde
Criteria		
Minimale eigenfrequentie, onbelast	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.00
Minimale eigenfrequentie, voertangenschroom	$f_{e,unb}$ [Hz]	2.20
Maximale doorbuiging	w_{max} [mm]	72.00
Minimale helling (afwatering)	ϕ_{min} [%]	1.00
Maximale helling (toegankelijkheid)	ϕ_{max} [%]	4.00
Minimale comfortklasse	CK2	CK3
Maximaal toegelaten verticale ontverpersneling		1.00 2.50
Eigenfrequentie		
Constante randcondities	K_{ed} [-]	9.87
Correctiefactor	f_{cor} [-]	1.00
Eigenfrequentie, onbelast, korte termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.55
Eigenfrequentie onder voertangenschroom, korte termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.10 2.91
Eigenfrequentie, onbelast, lange termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.00
Eigenfrequentie onder voertangenschroom, lange termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	2.79 2.62
Unity check: eigenfrequentie, onbelast, lange termijn	$U_{f,unb}$ [-]	1.00
Unity check: eigenfrequentie onder voertangenschroom, lange termijn	$U_{f,unb}$ [-]	0.788 0.840
Controle		OK OK
Doorbuiging		
Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, korte termijn	$w_{k,kt}$ [mm]	50.41
Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, lange termijn	$w_{k,lt}$ [mm]	62.25
Doorbuiging door dienstvoertuig, korte termijn	$w_{d,kt}$ [mm]	15.57
Doorbuiging door dienstvoertuig, lange termijn	$w_{d,lt}$ [mm]	16.50
Unity check: doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, lange termijn	$U_{w,k,lt}$ [-]	0.86 OK
Unity check: doorbuiging door dienstvoertuig, lange termijn	$U_{w,d,lt}$ [-]	0.25 OK
Verticale versnelling		
95 percentiel van de piekfactor	k_{95} [-]	3.92 3.8
Constante voor de maximum belasting	C [-]	2.95 3.7
Constante	k_f [Hz ²]	0.012 0.007
Aantal voertuigen op de brug	n [P]	32.04 64.08
Variatie op de belasting	σ_f [P-Hz]	384.480 44.8550
Constante	a_1 [-]	-0.07 -0.07
Constante	a_2 [-]	0.6 0.56
Constante	a_3 [-]	0.075 0.094



Beschrijving	Symbol	Waarde
Basic input en output		
Basic input		
Optimalisatie naar		Laminaatdiktes (met opgegeven hoogte)
Lengte brugdek	L_{brug} [m]	18.00
Overspanning	L_{span} [m]	17.80
Breedte brugdek	B_{brug} [m]	4.00
Nuttige breedte	B_{nut} [m]	3.60
Breedte onderzijde brug	B_{unb} [m]	3.82
Bouwhoogte (handmatige invoer)	H_b [m]	0.52
Bouwhoogte	H_b [m]	0.52
Slankheid	λ [-]	34.62
Randcondities		Eenvoudig opgelegd
Definieerschematische dwarsdoorsnede, afmetingen buiten proportie		Definieerschematische langdoorsnede, eenvoudig opgelegd, afmetingen
Definieerschematische dwarsdoorsnede, tweezijdig ingeklemd, afmetingen		Definieerschematische langdoorsnede, tweezijdig ingeklemd, afmetingen
Basic output		
Meest bepalende criterium in geval van optimalisatie		Eigenfrequentie, onbelast, lange termijn
Massa brug (structureel + slijttaag + leuning)	$M_{brug,ct}$ [kg]	16955
Eigenfrequentie	$M_{brug,lt}$ [kg]	14757
Doorbuiging		OK
Verticale versnelling		OK

Beschrijving	Symbol	Vaste waarden	Bovenruimte	Lamellen
Geometrie				
Laag			1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
Richting	θ [°]	90 0 45 -45 0 45 -45 0 45 -45		
Dikte laag	t_{laag} [mm]	16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		
Niveau bovenzijde laag t.o.v. symmetrie-vlak	z_b [mm]	3.0 4.9 2.0 2.0 2.0 4.9 2.0 2.0 4.9 2.0 2.0		
Niveau onderzijde laag t.o.v. symmetrie-vlak	z_u [mm]	14.8 11.8 6.9 4.9 3.0 -2.0 -3.9 -5.9 -10.8 -12.8 -14.8		
Vezels				
Vezeltype (keuze per laminaat of laag)			G-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas-Glas	
Vezeltype			2570 2570 2570 2570 2570 2570 2570 2570 2570 2570	
Dichtheid	ρ_v [kg/m ³]	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2		
Poisson ratio	ν_v [-]	73 73 73 73 73 73 73 73 73 73		
Stijfheid langsrichting	E_{vv} [GPa]	73 73 73 73 73 73 73 73 73 73		
Stijfheid dwarsrichting	E_{vu} [GPa]	73 73 73 73 73 73 73 73 73 73		
Glijdingsmodulus	G_{vv} [GPa]	30 30 30 30 30 30 30 30 30 30		
Hars				
Hars-type (keuze per laminaat of laag)			Polyest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest	
Hars-type			1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200 1200	
Dichtheid	ρ_h [kg/m ³]	0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4		
Poisson ratio	ν_h [-]	3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6		
Stijfheid	E_h [GPa]	1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4 1.4		
Glijdingsmodulus	G_{hh} [GPa]	0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9		
Composiet				
Vezelvolume fractie (keuze per laminaat of laag)	V_v [%]	55 55 55 55 55 55 55 55 55 55		
Vezelvolume fractie	V_v [%]	1954 1954 1954 1954 1954 1954 1954 1954 1954 1954		
Dichtheid	ρ_c [kg/m ³]	0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3		
Poisson ratio	ν_c [-]	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1		
Empirische reductiecoëfficiënt	ϕ [-]	0.97		
Stijfheid langsrichting	E_{cc} [GPa]	40.5 40.5 40.5 40.5 40.5 40.5 40.5 40.5 40.5 40.5		
Stijfheid dwarsrichting	E_{cu} [GPa]	0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9		
Glijdingsmodulus	G_{cc} [GPa]	12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9 12.9		

C-BRIDGE

TETRA PROJECT

Ontwerpmethodes en softwarematige analysetechnieken

TETRA project C-Bridge

Deze whitepaper werd opgesteld in het kader van het TETRA project C-Bridge en heeft de analytische berekeningswijze van een vezel-versterkte kunststoffen fietsers- en voetgangersbrug aan de hand van een rekvoorbeeld, CUR96:2017 wordt als basis gebruikt voor de berekening. De materiaal-eigenschappen van de laminaten in het brugdek worden berekend volgens de klassieke laminaattheorie. Aan het einde zal de berekeningswijze geïntegreerd worden in een Excel rekentool, die een eerste inschatting van het materiaalgebruik voor een composietbrug met bepaalde randvoorwaarden en afmetingen.

Methodes en softwarematige analysetechnieken

Verband van de verschillende methoden wordt gebruikt als leidraad voor

Methoden

Testen

7

Sterkte van de huiden

Sterkte van de lijfplaten

Zeeg

Comfort

voetgangersbrug vervaardigd voor een realistische situatie. Door de berekeningen. Hierbij worden en besproken worden in CUR96:2017 kan teruggevonden wordt is in het kader van het

Methoden voor de verschillende methoden (KLT), welke buiten de literatuur en het eerste uit van dit onderzoeksproject

gevoerd in een Excel rekentool, composietbrug met bepaalde belastingen (pugging, ...). Deze rekentool (pugging) en de resultaten zullen

Pagina 6

Methodes en softwarematige analysetechnieken

rekenend worden welke en voetpaden hebben fietsers- en voetgangersbrug mogelijk te maken. Belasting van de fietsers- en voetpaden is 0,2 m. De totale vrije breedte van de VVK brug in dit

Pagina 7

Softwarematige analysetechnieken

N

m

m

N

N

/m²

/m

opgesomd. Niet en derhalve niet

N

N

N

N

voetgangers bruggen bereikbaarheid onder belasting/strekte zijn volgens de codes niet van

belasting +

belasting (ψ_{4k})

belasting

belasting

Pagina 22

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Pagina 24

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Pagina 29

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

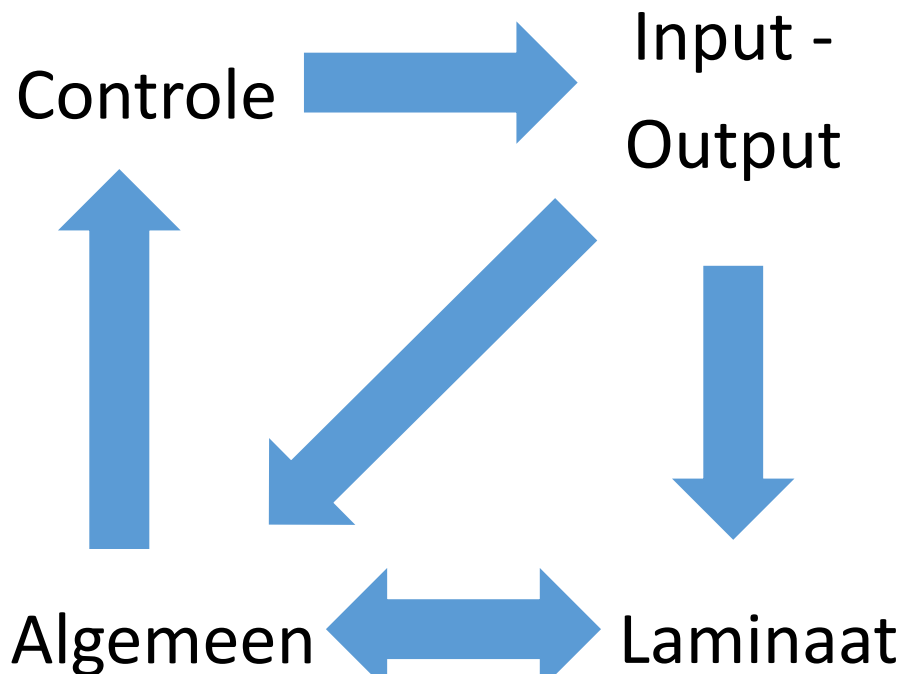
Softwarematige analysetechnieken

Softwarematige analysetechnieken

Pagina 36

Rekentool: werkwijze

Beschrijving	Symbol	Waarde
Buikbaarheid (B61)		
Criteria		
Minimale eigenfrequentie, onbelast	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.00
Minimale eigenfrequentie, voetgangersstroom	$f_{e,min}$ [Hz]	2.20
Maximale doorbuiging	w_{max} [mm]	72.00
Minimale helling (afwatering)	ϕ_{min} [%]	1.00
Maximale helling (toegankelijkheid)	ϕ_{max} [%]	4.00
Minimale comfortklasse	CK2	CK3
Maximaal toegelaten verticale ontwerpsverselling		1.00 2.50
Eigenfrequentie		
Constante randcondities	K_{ed} [-]	9.83
Correctiefactor	f_{cor} [-]	1.00
Eigenfrequentie, onbelast, korte termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.53
Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, korte termijn	$f_{e,min}$ [Hz]	3.10 2.91
Eigenfrequentie, onbelast, lange termijn	$f_{e,unb}$ [Hz]	3.00
Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, lange termijn	$f_{e,min}$ [Hz]	2.79 2.62
Unity check: eigenfrequentie, onbelast, lange termijn	$U_{f,min}$ [-]	1.00
Unity check: eigenfrequentie onder voetgangersstroom, lange termijn	$U_{f,min}$ [-]	0.788 0.840
Controle		OK OK
Doorbuiging		
Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, korte termijn	$w_{k,kt}$ [mm]	50.41
Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, lange termijn	$w_{k,lt}$ [mm]	62.25
Doorbuiging door dienstvoertuig, korte termijn	$w_{d,kt}$ [mm]	15.57
Doorbuiging door dienstvoertuig, lange termijn	$w_{d,lt}$ [mm]	16.50
Unity check: doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, lange termijn	$U_{w,k,lt}$ [-]	0.86 OK
Unity check: doorbuiging door dienstvoertuig, lange termijn	$U_{w,d,lt}$ [-]	0.25 OK
Verticale versnelling		
95 percentiel van de piekfactor	k_{rms} [-]	3.92 3.8
Constante voor de maximum belasting	C [-]	2.95 3.7
Constante	k_f [Hz ²]	0.002 0.007
Aantal voetgangers op de brug	n [P]	32.04 64.08
Variatie op de belasting	σ_f [P-Hz]	384480 448550
Constante	a_1 [-]	-0.07 -0.07
Constante	a_2 [-]	0.6 0.56
Constante	a_3 [-]	0.075 0.094



Beschrijving	Symbol	Waarde
Basic input and output		
Basic input		
Optimalisatie naar		Geen optimalisatie
Lengte brugdek	L_{brug} [m]	16
Overspanning	L_{span} [m]	15.8
Breedte brugdek	B_{brug} [m]	4.4
Nuttige breedte	B_{nut} [m]	4
Breedte boventiën	B_{bo} [m]	3.96
Breedte ondertiën	B_{od} [m]	3.57
Bouwhoogte (handmatige invoer)	H_{brug} [m]	0.6
Bouwhoogte	H_{span} [m]	0.6
Stankheid	λ [-]	2667
Definieerschema's dwarsdoorsnede, afmetingen buiten proportie		
Definieerschema's dwarsdoorsnede, eenvoudig opgelegd, afmetingen buiten proportie		
Definieerschema's dwarsdoorsnede, tweezijdig opgelegd, afmetingen buiten proportie		

	Beschrijving	Symbol	Vaste waarden	Bovenheid									
	Lamellen			Lamellen									
Geometrie	Geometrie												
	Laag			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Richting	θ [°]		90	0	45	-45	0	45	-45	0	45	-45
	Dikte lamel	t_{lam} [mm]		16	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0
	Niveau bovenzijde lamel t.o.v. symmetrie-vlak	z_b [mm]		3.0	4.9	2.0	2.0	4.9	2.0	2.0	4.9	2.0	2.0
	Niveau onderzijde lamel t.o.v. symmetrie-vlak	z_o [mm]		14.6	11.8	6.9	4.9	3.0	-2.0	-3.9	-5.9	-10.8	-12.8
			11.8	6.9	4.9	3.0	-2.0	-3.9	-5.9	-10.8	-12.8	-14.6	
Vezels	Vezels												
	Vezeltype (keuze per laminaat of lamel)			G-Glas-G-Glas-G-Glas-G-Glas-G-Glas-G-Glas-G-Glas									
	Vezeltype			2570	2570	2570	2570	2570	2570	2570	2570	2570	2570
	Dichtheid	ρ_v [kg/m³]		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	Poisson ratio	ν_{vz} [-]		73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
	Stijfheid langsrichting	E_{vv} [GPa]		73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
	Stijfheid dwarsrichting	E_{vd} [GPa]		73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
	Glijdingsmodulus	G_{vv} [GPa]		30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Hars	Hars												
	Hars type (keuze per laminaat of lamel)			Polyest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest-olvest									
	Hars type			1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
	Dichtheid	ρ_h [kg/m³]		0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	Poisson ratio	ν_h [-]		3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
	Stijfheid	E_h [GPa]		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
		Glijdingsmodulus	G_{hh} [GPa]		1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Composiet	Composiet												
	Vezelvolume fractie (keuze per laminaat of lamel)	V_v [%]		55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
	Vezelvolume fractie	V_v [%]		1954	1954	1954	1954	1954	1954	1954	1954	1954	1954
	Dichtheid	ρ_c [kg/m³]		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	Poisson ratio	ν_{vc} [-]		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Empirische reductiecoëfficiënt	ϕ [-]	0.97										
	Stijfheid langsrichting	E_{cc} [GPa]		40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5	40.5
	Stijfheid dwarsrichting	η_{cc} [-]		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Stijfheid dwarsrichting	E_{cd} [GPa]		129	129	129	129	129	129	129	129	129	129
		η_{cd} [-]		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
	Glijdingsmodulus	G_{cc} [GPa]		2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	

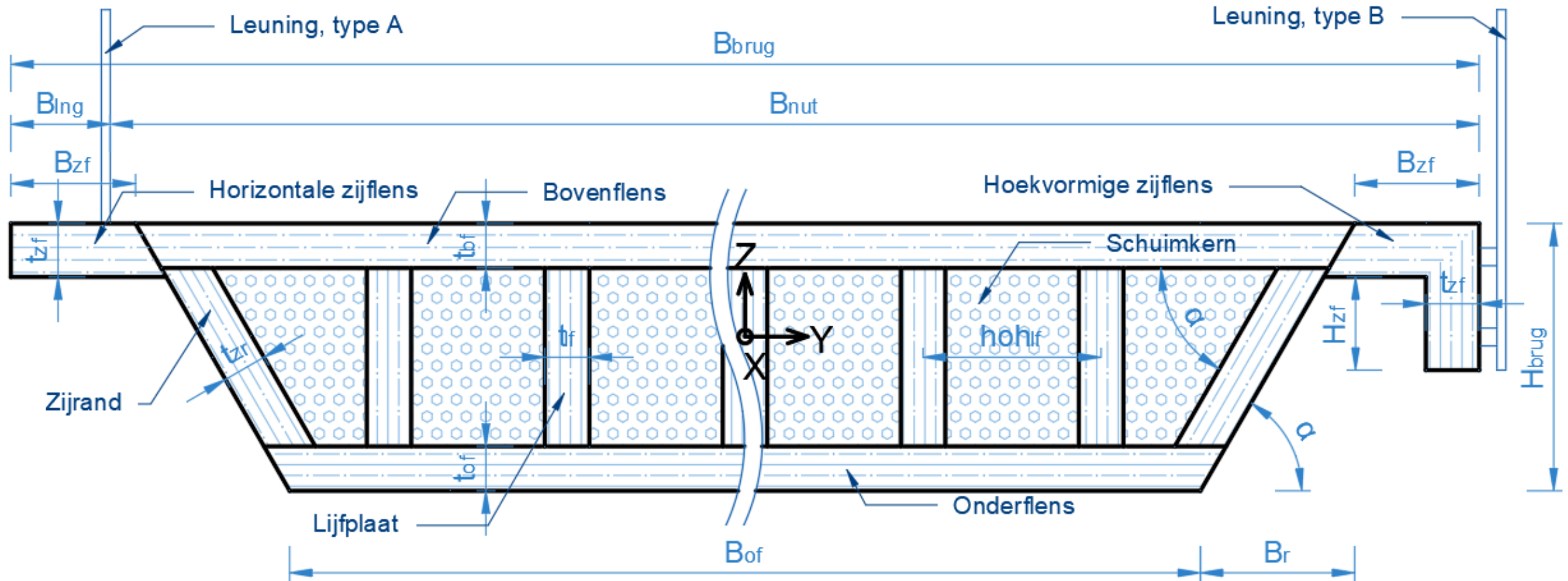
Eindranden	Eindranden		[90/0/±45/0/±45/0/±45]			
	Opbouw					
	Kenmerken		Gebalanceerd			
	Vezelrichting	θ [°]	90	0	45	-45
	Percentage van laminaatdikte	[%]	9	45	23	23
	Som percentages van laminaatdikte	[%]	100			
	Stijfheid langsrichting (overschrijven van berekende waarde)	E_x [GPa]				
	Stijfheid dwarsrichting (overschrijven van berekende waarde)	E_y [GPa]				
	Glijdingsmodulus (overschrijven van berekende waarde)	G_{xy} [GPa]				
	Sterkte langsrichting (overschrijven van berekende waarde)	$f_{t,xx}$ [MPa]				
	Sterkte dwarsrichting (overschrijven van berekende waarde)	$f_{t,xy}$ [MPa]				
	Afschuifsterkte (overschrijven van berekende waarde)	$\tau_{xy,xy}$ [MPa]				
Slijtlaag	Slijtlaag					
	Dikte slijtlaag	t_{slijt} [mm]	15			
	Instelling breedte slijtlaag	B_{slijt} [m]	Totale breedte			
Output						
Algemeen	Algemeen					
	Meest bepalende criterium in geval van optimalisatie		Geen optimalisatie			
	Massa brug (structureel + slijtlaag + leuning)	$M_{brug,tot}$ [kg]	10579			
	Massa brug (structureel)	$M_{brug,struct}$ [kg]	8431			
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag per vierkante meter	$P_{transport,struct,slijtlaag}$ [€/m²]	863			
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag	$P_{transport,tot}$ [€]	60764	De prijs is geschat en louter indicatief. Niet inbegrepen in de prijs zijn de leuning, montage en bfw.		
Minimale totale geproduceerde zeeg	Z_{aag} [mm]	107				
Eigenfrequentie	Eigenfrequentie					
	Eigenfrequentie, onbelast, begin levensduur	$f_{0,unbrd,1st}$ [Hz]	4.51	OK		
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, begin levensduur (comforteis 1)	$f_{0,brd,1st}$ [Hz]	4.03			
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, begin levensduur (comforteis 2)	$f_{0,brd,1st}$ [Hz]				
	Eigenfrequentie, onbelast, einde levensduur	$f_{0,unbrd,1st}$ [Hz]	4.05			
	Unity check: eigenfrequentie, onbelast, einde levensduur	$U_{C0,unbrd,1st}$ [-]	0.74	OK		
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 1)	$f_{0,brd,1st}$ [Hz]	3.63			
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 2)	$f_{0,brd,1st}$ [Hz]				
	Unity check: eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 1)	$U_{C0,brd,1st}$ [-]	0.61	OK		
	Unity check: eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 2)	$U_{C0,brd,1st}$ [-]		Geen eis		
Doorbuiging	Doorbuiging					
	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, begin levensduur	$w_{BCL,1st}$ [mm]	45.34	OK		
	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$w_{BCL,1st}$ [mm]	55.97			
	Unity check: doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$U_{Cw,BCL,1st}$ [-]	0.87	OK		
	Doorbuiging door dienstvoertuig, begin levensduur	$w_{BCL,1st}$ [mm]	11.71			
	Doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$w_{BCL,1st}$ [mm]	14.46			
Unity check: doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$U_{Cw,BCL,1st}$ [-]	0.23	OK			
Verticale versnelling	Verticale versnelling					
	Verticale ontwerpversnelling (comforteis 1)	$a_{0,1st}$ [m/s²]	1.57	OK		
	Unity check: verticale ontwerpversnelling (comforteis 1)	$U_{C0,1st}$ [-]	0.63			
	Behaalde comfortklasse verticale versnelling (comforteis 1)		OK3	OK		
	Verticale ontwerpversnelling (comforteis 2)	$a_{0,1st}$ [m/s²]				
	Unity check: verticale ontwerpversnelling (comforteis 2)	$U_{C0,1st}$ [-]		Geen eis		
Behaalde comfortklasse verticale versnelling (comforteis 2)						
Sterkte van de flenzen	Sterkte van de flenzen					
	Spanning in bovenflens	$\sigma_{x,brd,1st}$ [MPa]	55.92	OK		
	Unity check: spanning in bovenflens	$U_{C\sigma,x,brd,1st}$ [-]	0.17	OK		
	Spanning in onderflens	$\sigma_{x,brd,1st}$ [MPa]	55.92			
	Unity check: spanning in onderflens	$U_{C\sigma,x,brd,1st}$ [-]	0.16	OK		
				OK		
Sterkte van de lijfplaten	Sterkte van de lijfplaten					
	Schuifspanning in lijfplaat	$\tau_{xy,1st}$ [MPa]	18.71	OK		
	Unity check: schuifspanning in lijfplaat	$U_{C\tau,xy,1st}$ [-]	0.30	OK		
	Drukspanning in de lijfplaat	$\sigma_{y,1st}$ [MPa]	33.43			
Unity check: drukspanning in lijfplaat	$U_{C\sigma,y,1st}$ [-]	0.10	OK			

Opbouw rekentool

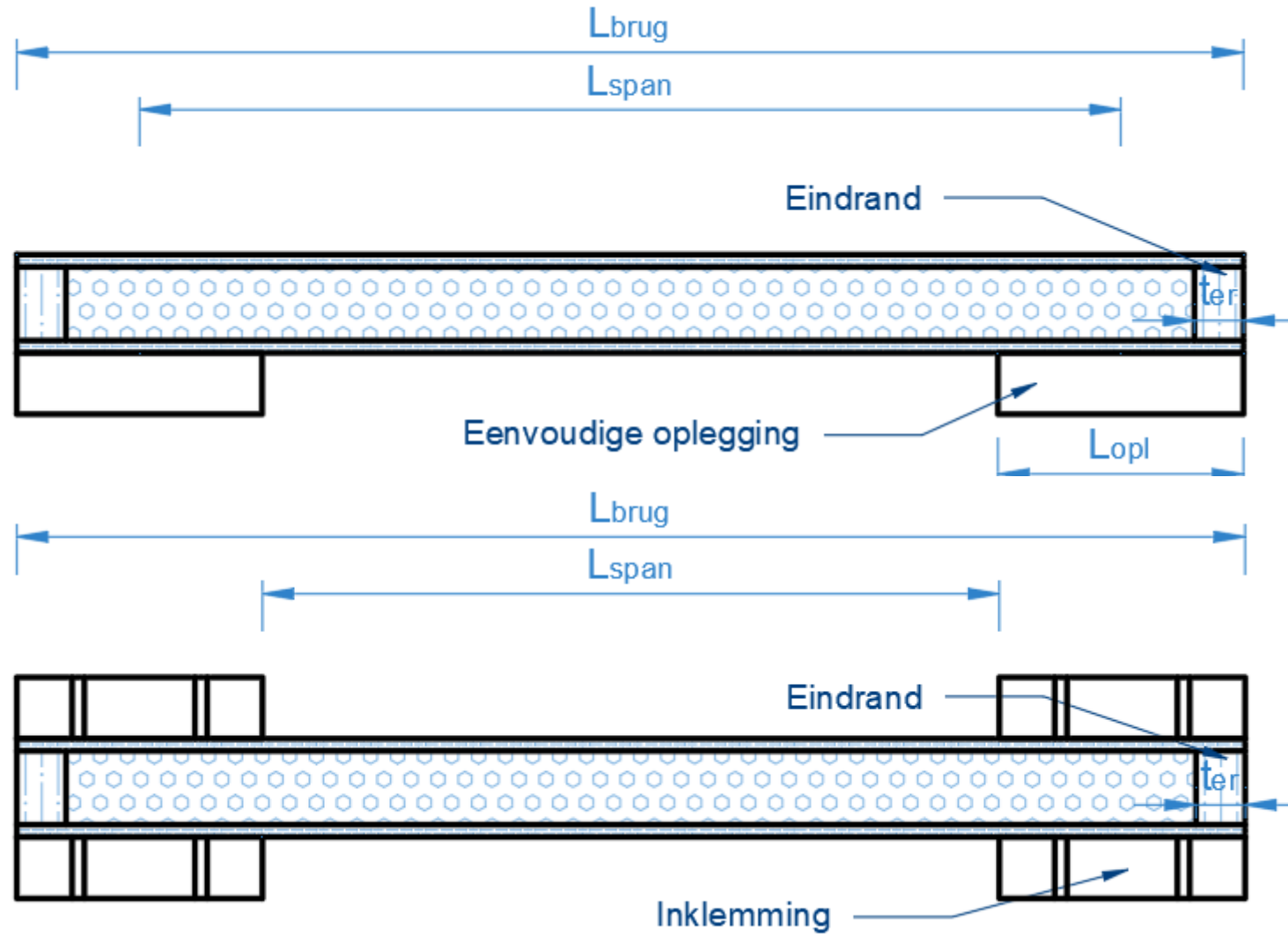
- Inputniveaus i.f.v. kennisniveau
 - Basic input
 - Intermediate input
 - Advanced input
- Outputniveaus
 - Basic output
 - Gedetailleerde output

C-BRIDGE
TETRA PROJECT

Opbouw: dwarsdoorsnede



Opbouw: langsdoorsnede



Basic input

Basic input			
Basic input	Optimalisatie naar		Geen optimalisatie
	Lengte brugdek	L_{brug} [m]	16.00
	Overspanning	L_{span} [m]	15.80
	Breedte brugdek	B_{brug} [m]	4.40
	Nuttige breedte	B_{nut} [m]	4.00
	Breedte bovenflens	B_{bf} [m]	4.40
	Breedte onderflens	B_{of} [m]	4.01
	Bouwhoogte (handmatige invoer)	H_{brug} [m]	0.60
	Bouwhoogte	H_{brug} [m]	0.60
	Slankheid	λ [-]	26.67

Basic input

Basic input			
Basic input	Optimalisatie naar		Geen optimalisatie
	Lengte brugdek	L_{brug} [m]	16.00
	Overspanning	L_{span} [m]	15.80
	Breedte brugdek	B_{brug} [m]	4.40
	Nuttige breedte	B_u [m]	4.00
	Breedte berandings	B_b [m]	4.40
	Breedte onderflow	B_o [m]	4.00
	Bouwhoogte (handmatige invoer)	H_{brug} [m]	0.60
	Bouwhoogte	H_{brug} [m]	0.60
	Tonnel	A 1.1	26.67

Basic input

Basic input		
Basic input	Optimalisatie naar	Geen optimalisatie
	Length bridge	L_{span} [m]
	Overspanning	15.80
	Breedte brugdek	B_{nut} [m]
	Nuttige breedte	4.00
	Breedte bovenflens	B_{bf} [m]
	Breedte onderflens	4.40
		B_{of} [m]
		4.01
	Bouwhoogte (standaardtype waarden)	H_{brug} [m]
	Bouwhoogte	0.60
	Slankheid	λ [-]
		26.67

Basic input

Basic input		
Optimalisatie naar		Geen optimalisatie
Basic input	Length bridge	15.0
	Overpassing	15.0
	Breadth bridge	6.0
	Bridge breadth	6.0
	Breadth overpass	6.0
	Breadth underpass	6.0
	Bridge length (handwritten notes)	15.0
	Bridge length	15.0
	Handwritten	15.0

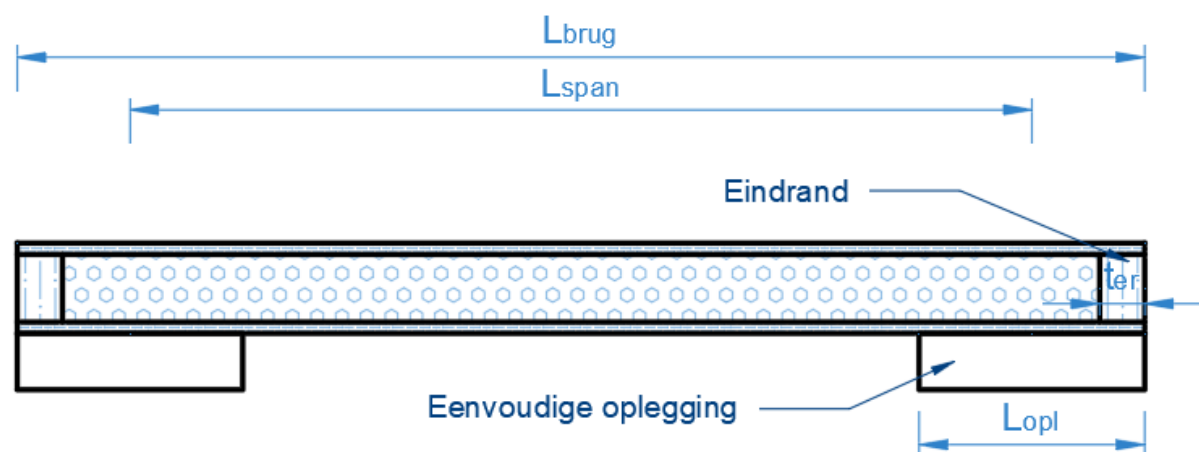
Basic output

Basic output			
Basic output	Meest bepalende criterium in geval van optimalisatie		Geen optimalisatie
	Massa brug (structureel + slijtlaag + leuning)	$M_{brug,tot}$ [kg]	10862
	Massa brug (structureel)	$M_{brug,str}$ [kg]	8713
	Eigenfrequentie		OK
	Doorbuiging		OK
	Verticale versnelling		OK
	Sterkte van de huiden		OK
	Sterkte van de lijfplaten		OK

Intermediate input

Intermediate input		
Randcondities		Eenvoudig opgelegd
Lengte oplegging	L_{opl} [m]	0.200
Hoek van zijranden met horizontale	α [°]	72.0
Breedte randstuk	B_r [m]	0.195
Breedte vrijgehouden voor leuning	B_{lng} [m]	0.200
Massa leuning		Handmatige invoer
Massa leuning (handmatige invoer)	ρ_{lng} [kg/m]	11.03

- Lengte oplegging → breedte van siing onder- en bovenflens
- Breedte leuning → nuttige breedte



Intermediate input

Intermediate input		
Intermediate input	Laminaten	
	Dikte bovenflens (handmatige invoer)	t_{bf} [mm]
		14
	Dikte bovenflens	t_{bf} [mm]
		14
	Instelling dikte onderflens	Zelfde als bovenflens
	Dikte onderflens	t_{of} [mm]
		14
	Instelling zijflenzen	Hoekvormige zijflenzen
	Breedte zijflenzen	B_{zf} [m]
		0.22
	Hoogte van verticaal gedeelte van zijflenzen	H_{zf} [m]
		0.35
	Instelling dikte zijflenzen	Handmatige invoer
	Dikte zijflenzen (handmatige invoer)	t_{zf} [mm]
		15
	Dikte zijflenzen	t_{zf} [mm]
		15
	Instelling dikte lijfplaten	Handmatige invoer
	Dikte lijfplaten (handmatige invoer)	t_{lf} [mm]
		6
	Dikte lijfplaten	t_{lf} [mm]
		6
	Hart-op-hartafstand lijfplaten	hoh_{lf} [m]
		0.2
	Instelling dikte zijranden	Handmatige invoer
	Dikte zijranden (handmatige invoer)	t_{zr} [mm]
		25
	Dikte zijranden	t_{zr} [mm]
		25
	Dikte eindranden	t_{er} [mm]
		8

Advanced input – deel 1

Advanced input		
Advanced input	Gewicht één persoon	P [N]
		800.00
	Dichtheid voetgangersstroom (comforteis 1)	0.50 P/m ² : dicht verkeer
	Minimale comfortklasse (comforteis 1)	CK3: minimaal comfort
	Dichtheid voetgangersstroom (comforteis 2)	
	Minimale comfortklasse (comforteis 2)	
	Dempingsverhouding	ξ [-]
		0.03
	Doorbuigingseis (verhouding lengte op doorbuiging)	L/w _{max} [-]
		250
	Aslast dienstvoertuig	Q _{svA} [kN]
		25.00
	Geproduceerde constante toog	R _{prod} [m]
		200.00
	Vochtigheidsconditie	Wisselend droge en natte periodes

Advanced input – deel 1

Advanced input			
Advanced input	Gewicht één persoon	P [N]	800.00
	Dichtheid voetgangersstroom (comforteis 1)	0.50 P/m ² : dicht verkeer	
	Minimale comfortklasse (comforteis 1)	CK3: minimaal comfort	
	Dichtheid voetgangersstroom (comforteis 2)		
	Minimale comfortklasse (comforteis 2)		
	Dempingsverhouding	ξ [-]	0.03
Comfortklassen			
Comfortklasse	Verticale versnelling		
	Ondergrens	Bovengrens	
	a_{onder} [m/s ²]	a_{boven} [m/s ²]	
CK1: maximaal comfort	0	0.5	
CK2: medium comfort	0.5	1	
CK3: minimaal comfort	1	2.5	
CK4: onacceptabel discomfort	2.5	∞	
Bron: EUR 23984 EN, tabel 4-4			

Advanced input – deel 1

Advanced input		
Advanced input	Geslacht één persoon	F (M)
	Stichtend verligingsniveau (comfortabel 1)	0.50 (typisch) 0.60 (verkeer)
	Minimale comfortklasse (comfortabel 1)	1 (2) minimaal comfort
	Stichtend verligingsniveau (comfortabel 2)	
	Minimale comfortklasse (comfortabel 2)	
	Deurverluchting	0.05
Doorbuigingseis (verhouding lengte op doorbuiging)		L/w_{\max} [-]
		250
Aslast dienstvoertuig		Q_{svA} [kN]
		25.00
Geproduceerde constante toog		R_{prod} [m]
		200.00
Vochtigheidsconditie		Wisselend droge en natte periodes

Advanced input – deel 2 (materialen)

Advanced input	
Advanced input	Materialen
	Materiaal vezels
	Materiaal hars
	Vezelvolumefractie V_f [%]
	Materiaal kern
	Materiaal slijtlaag
	E-Glass
	Polyester
	55.00
	PUR
	Standaard slijtlaag
	Geen
	Standaard slijtlaag

Advanced input – deel 3 (laminaatopbouw)

Advanced input	
Advanced input	Lijfplaten
	Opbouw
	Kenmerken
	Vezelrichting
	Percentage van laminaatdikte
	Som percentages van laminaatdikte

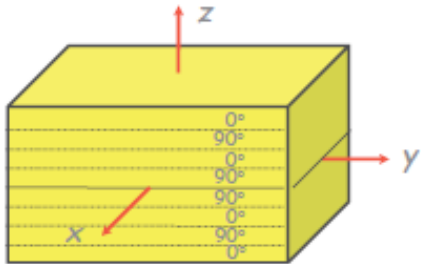
[90/-45/45/90]

[90/-45/45/90]

[0/45/90/-45],

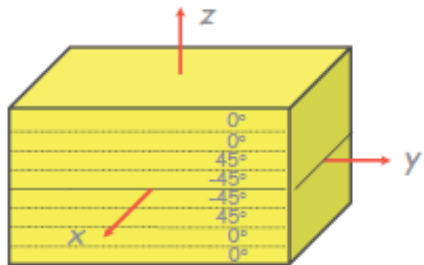
[0/90₃],

90	-45	45
50	25	25



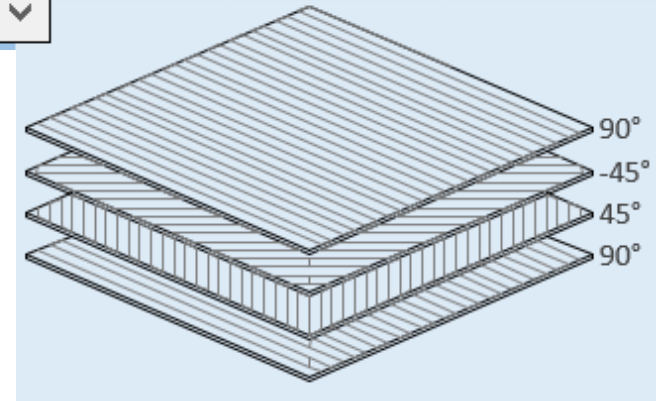
$$[0/90/0/90/90/0/90/0]$$

$$= [0/90]_{2s}$$



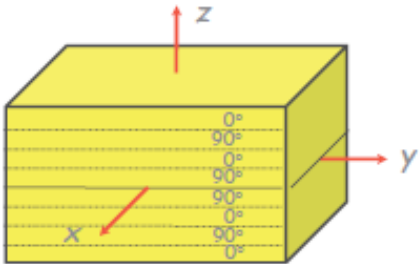
$$[0/0/45/-45/-45/45/0/0]$$

$$= [0_2/\pm 45_2]_s$$

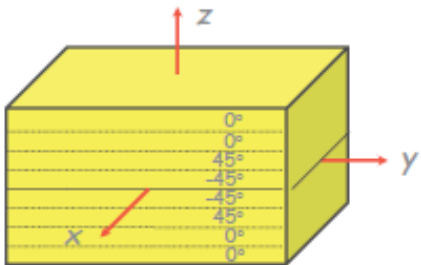


Advanced input – deel 3 (laminaatopbouw)

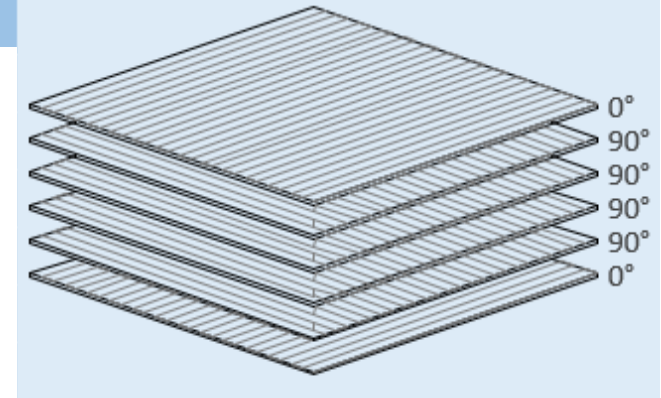
Advanced input				
Advanced input	Lijfplaten			
	Opbouw	Handmatige invoer		
	Opbouw (handmatige invoer)	[0/90_2]_S		
	Kenmerken	Gebalanceerd		
	Vezelrichting	θ [°]	0	90
	Percentage van laminaatdikte	[%]	50	50
	Som percentages van laminaatdikte	[%]	100	



$$[0/90/0/90/90/0/90/0] \\ = [0/90]_{2S}$$



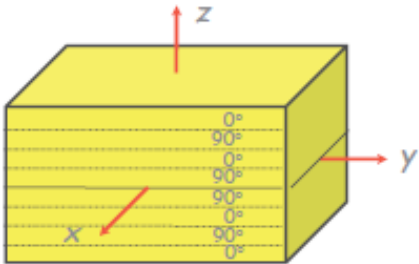
$$[0/0/45/-45/-45/45/0/0] \\ = [0_2/\pm 45_2]_S$$



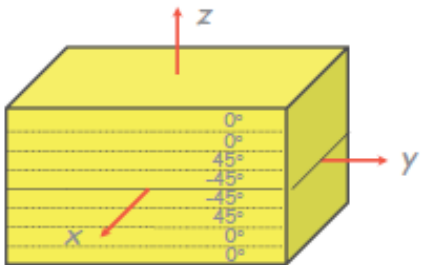
Voorbeeld handmatige invoer: "[0/-30/±45]_{2S}"
wordt ingegeven als "[0/-30/+45]_{2S}".

Advanced input – deel 3 (laminaatopbouw)

Advanced input						
Advanced input	Lijfplaten					
	Opbouw		[90/-45/45/90]			
	Kenmerken		Gebalanceerd			
	Vezelrichting	θ [°]	90	-45	45	
	Percentage van laminaatdikte	[%]	50	25	25	
	Som percentages van laminaatdikte	[%]	100			



$$[0/90/0/90/90/0/90/0] \\ = [0/90]_{2s}$$



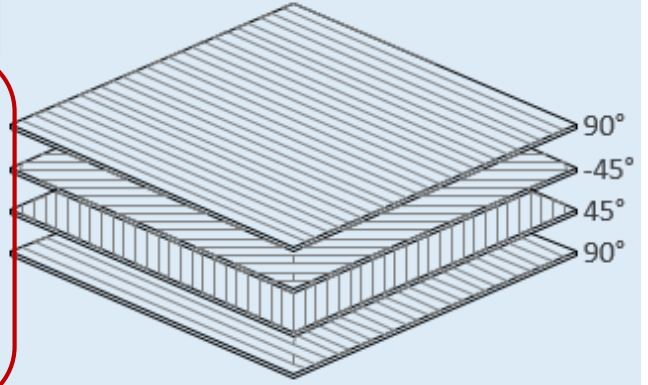
$$[0/0/45/-45/-45/45/0/0] \\ = [0_2/\pm 45_2]_s$$

Speciale laminaten

- Symmetrisch laminaat: symmetrisch t.o.v. middenvlak
- Gekruist laminaat: lagen liggen enkel in de 0° en 90° richting
- Hoek laminaat: lagen bestaan enkel uit θ° en $-\theta^\circ$
- Quasi-isotroop laminaat: isotrope eigenschappen
Bv. $[0/45/90/-45]_s$

Advanced input – deel 3 (laminaatopbouw)

Advanced input						
Advanced input	Lijfplaten	Lijfplaten				
		Opbouw	[90/-45/45/90]			
		Kenmerken	Gebalanceerd			
		Vezelrichting	θ [°]	90	-45	45
		Percentage van laminaatdikte	[%]	50	25	25
		Som percentages van laminaatdikte	[%]	100		
		Stijfheid langsrichting (overschrijven van berekende waarde)	E_x [GPa]			
		Stijfheid dwarsrichting (overschrijven van berekende waarde)	E_y [GPa]			
		Glijdingsmodulus (overschrijven van berekende waarde)	G_{xy} [GPa]			
		Sterkte langsrichting (overschrijven van berekende waarde)	$f_{xt,Rk}$ [MPa]			
Sterkte dwarsrichting (overschrijven van berekende waarde)	$f_{yt,Rk}$ [MPa]					
Afschuifsterkte (overschrijven van berekende waarde)	$\tau_{xy,Rk}$ [MPa]					



Output – algemeen

Algemeen	Algemeen		
	Meest bepalende criterium in geval van optimalisatie		Geen optimalisatie
	Massa brug (structureel + slijtlaag + leuning)	$M_{brug,tot}$ [kg]	10862
	Massa brug (structureel)	$M_{brug,str}$ [kg]	8713
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag per vierkante meter	$P_{trans,str,slijt,m^2}$ [€/m ²]	873
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag	$P_{trans,str,slijt}$ [€]	61472
	Minimale totale geproduceerde zeeg	Z_{tot} [mm]	108

Output – algemeen

Algemeen		
Algemeen	Meest belangrijke criteria's in geval van optimalisatie	Geen optimalisatie
	Massa brug (structureel + slijtlaag + leuning)	$M_{brug,tot}$ [kg] 10862
	Massa brug (structureel)	$M_{brug,str}$ [kg] 8713
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag per vierkante meter	$P_{trans,str,slijt,m^2}$ [€/m ²] 873
	Prijs van transport, structurele elementen en slijtlaag	$P_{trans,str,slijt}$ [€] 61472
	Minimale totale geproduceerde lengte	L_{tot} [m] 108

Output – algemeen

Algemeen		
Algemeen	Meest beperkende criterium in geval van optimalisatie	Geen optimalisatie
	Massa brug (structuur + stijfheid + leuning)	10862
	Massa brug (structuur)	875
	Prijs van transport, structurele elementen en stijfheid per vierkante meter	875
	Prijs van transport, structurele elementen en stijfheid	6242
Minimale totale geproduceerde zeeg		Z _{tot} [mm] 108

Output – GGT: eigenfrequentie

Eigenfrequentie			OK	
Eigenfrequentie	Eigenfrequentie, onbelast, begin levensduur	$f_{0,onbel,kt}$ [Hz]	4.38	
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, begin levensduur (comforteis 1)	$f_{0,be,kt}$ [Hz]	3.93	
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, begin levensduur (comforteis 2)	$f_{0,be,kt}$ [Hz]		
	Eigenfrequentie, onbelast, einde levensduur	$f_{0,onbel,lt}$ [Hz]	3.94	
	Unity check: eigenfrequentie, onbelast, einde levensduur	$uc_{f0,onbel,lt}$ [-]	0.76	OK
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 1)	$f_{0,be,lt}$ [Hz]	3.54	
	Eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 2)	$f_{0,be,lt}$ [Hz]		
	Unity check: eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 1)	$uc_{f0,be,lt}$ [-]	0.62	OK
	Unity check: eigenfrequentie onder voetgangersstroom, einde levensduur (comforteis 2)	$uc_{f0,be,lt}$ [-]		Geen eis

Output – GGT: doorbuiging

Doorbuiging		OK	
Doorbuiging	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, begin levensduur	$w_{BC3,kt}$ [mm]	46.23
	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$w_{BC3,lt}$ [mm]	57.07
	Unity check: doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$UC_{wBC3,lt}$ [-]	0.89
	Doorbuiging door dienstvoertuig, begin levensduur	$w_{BC4,kt}$ [mm]	11.99
	Doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$w_{BC4,lt}$ [mm]	14.80
	Unity check: doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$UC_{wBC4,lt}$ [-]	0.23
		OK	

Output – GGT: verticale versnelling

Verticale versnelling	Verticale versnelling		OK
	Verticale ontwerpversnelling (comforteis 1)	$a_{d,vert} [m/s^2]$	1.52
	Unity check: verticale ontwerpversnelling (comforteis 1)	$u_{c_{ad,vert}} [-]$	0.61
	Behaalde comfortklasse verticale versnelling (comforteis 1)		CK3
	Verticale ontwerpversnelling (comforteis 2)	$a_{d,vert} [m/s^2]$	OK
	Unity check: verticale ontwerpversnelling (comforteis 2)	$u_{c_{ad,vert}} [-]$	
	Behaalde comfortklasse verticale versnelling (comforteis 2)		Geen eis

Comfortklassen		
Comfortklasse	Verticale versnelling	
	Ondergrens	Bovengrens
	$a_{onder} [m/s^2]$	$a_{boven} [m/s^2]$
CK1: maximaal comfort	0	0.5
CK2: medium comfort	0.5	1
CK3: minimaal comfort	1	2.5
CK4: onacceptabel discomfort	2.5	∞
Bron: EUR 23984 EN, tabel 4-4		

Output – UGT: sterkte van de huiden

Sterkte van de flenzen			OK
Spanning in bovenflens	$\sigma_{x,bf,M}$ [MPa]	51.85	OK
Unity check: spanning in bovenflens	$uc_{\sigma,x,bf}$ [-]	0.16	
Spanning in onderflens	$\sigma_{x,of,M}$ [MPa]	51.85	OK
Unity check: spanning in onderflens	$uc_{\sigma,x,of}$ [-]	0.14	

Output – UGT: sterkte van de lijfplaten

Sterkte van de lijfplaten			OK
Schuifspanning in lijfplaat	$\tau_{xy,lf,v}$ [MPa]	18.77	OK
Unity check: schuifspanning in lijfplaat	$uc_{\tau,xy,lf}$ [-]	0.15	
Drukspanning in de lijfplaat	$\sigma_{y,lf,BCS}$ [MPa]	33.43	
Unity check: drukspanning in lijfplaat	$uc_{\sigma,y,lf}$ [-]	0.10	

Optimalisatie

Basic input	Basic input		
	Optimalisatie naar	Hoogte (met opgegeven laminaatdiktes)	
	Lengte brugdek		
	Overspanning		
	Breedte brugdek		
	Nuttige breedte		
	Breedte bovenflens		
	Breedte onderflens		
	<div>Geen optimalisatie</div> <div>Zowel hoogte als laminaatdiktes</div> <div>Hoogte (met opgegeven laminaatdiktes)</div> <div>Laminaatdiktes (met opgegeven hoogte)</div>		
	B_{brug} [m]	4.4	
	B_{nut} [m]	4	
	B_{bf} [m]	3.96	
	B_{of} [m]	3.59	
	Bouwhoogte	H_{brug} [m]	0.564555445
	Slankheid	λ [-]	28.34

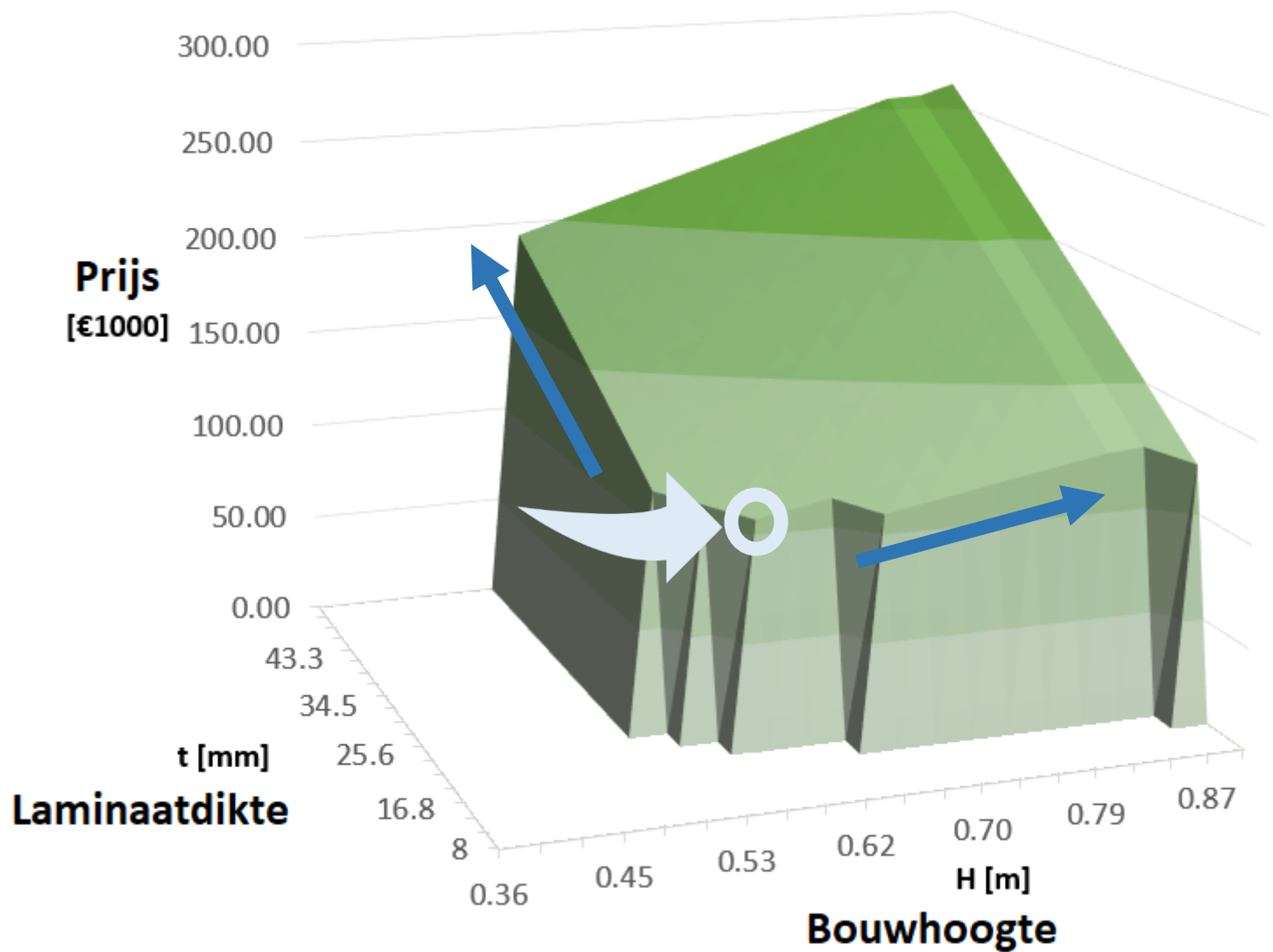
Optimalisatie

Basic output	Basic output	
	Meest bepalende criterium in geval van optimalisatie	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting
	Massa brug (structureel + slijtlaag + leuning)	$M_{brug,tot}$ [kg] 10308
	Massa brug (structureel)	$M_{brug,str}$ [kg] 8160
	Eigenfrequentie	OK
	Doorbuiging	OK
	Verticale versnelling	OK
	Sterkte van de flenzen	OK
	Sterkte van de lijfplaten	OK

Doorbuiging	Doorbuiging		OK
	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, begin levensduur	$w_{BC3,kt}$ [mm] 51.74	
	Doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$w_{BC3,lt}$ [mm] 63.88	
	Unity check: doorbuiging door gelijkmatig verdeelde belasting, einde levensduur	$UC_{wBC3,lt}$ [-] 1.00	OK
	Doorbuiging door dienstvoertuig, begin levensduur	$w_{BC4,kt}$ [mm] 13.38	
	Doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$w_{BC4,lt}$ [mm] 16.51	
	Unity check: doorbuiging door dienstvoertuig, einde levensduur	$UC_{wBC4,lt}$ [-] 0.26	OK

Optimalisatie

- Optimalisatie naar beide parameters



Uitgewerkte cases

- Fietsostrade F18 in Puurs
- Fietsostrade F11 in Mortsel

MORTSEL

PUURS

C-BRIDGE
TETRA PROJECT

Werkwijze

- Nagaan gemeenschappelijke toetsingen
- Gekende inputwaarden invoeren
- Vergelijking (tussen)resultaten
- Bij slechte overeenkomst: vaste waarden in rekentool aanpassen

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
-----------	-----------	-----------	--------------------------

Puurs: algemene kenmerken

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
Algemene kenmerken			
Totale massa, $M_{\text{brug,tot}}$ [kg]	8210	8221	8221
Eigengewicht, q_{EG} [kN/m ²]	1,1	1,1	1,1
Buigstijfheid, EI_x [MNm ²]	135	137	137
Afschuifstijfheid, GA_{xy} [MN]	250	249	249

Puurs: controles GGT

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
Controles GGT			
Eigenfrequentie, onbelast, $f_{0,onbel,lt}$ [Hz]	3,4	2,83	3,3
Eigenfrequentie, belast, $f_{0,bel,lt}$ [Hz]	2,9	2,44	2,9
Doorbuiging t.g.v. verdeelde belasting, $w_{BC3,lt}$ [mm]	158	159	159
Doorbuiging t.g.v. dienstvoertuig, $w_{BC4,lt}$ [mm]	38	39	39
Zeeg aan het begin van de levensduur, Z_{tot} [mm]	139	138	138

Puurs: controles UGT

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
Controles UGT			
Drukspanning in bovenflens, $\sigma_{x,bf,M}$ [MPa]	122	81	119
Trekspanning in onderflens, $\sigma_{x,of,M}$ [MPa]	122	80	117
Schuifspanning in lijfplaat, $\tau_{xy,lf,V}$ [MPa]	34	33	37
Drukspanning in lijfplaat, $\sigma_{y,lf,BC5}$ [MPa]	33	40	34

Mortsel: laminaateigenschappen

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
Laminaateigenschappen			
Stijfheid langsrichting van flenzen, E_x [GPa]	30,74	29,55	27,93
Stijfheid dwarsrichting van flenzen, E_y [GPa]	14,08	13,23	14,16
Glijdingsmodulus van flenzen, G_{xy} [GPa]	4,39	4,38	4,63
Stijfheid langsrichting van lijfplaten, E_x [GPa]	15,74	17,86	15,24
Stijfheid dwarsrichting van lijfplaten, E_y [GPa]	15,74	17,86	15,24
Glijdingsmodulus van lijfplaten, G_{xy} [GPa]	5,69	6,67	5,69

Mortsel: controles GGT

Grootheid	Rekennota	Rekentool	Rekentool (aangepast)
Controles GGT			
Eigenfrequentie, onbelast, $f_{0,onbel,lt}$ [Hz]	2,61	3,37	3,28
Doorbuiging t.g.v. eigengewicht, $w_{EG,lt}$ [mm]	39,00	43,00	39,50
Doorbuiging t.g.v. verdeelde belasting, $w_{BC3,lt}$ [mm]	21,10	51,94	19,45
Doorbuiging t.g.v. dienstvoertuig, $w_{BC4,lt}$ [mm]	17,70	10,89	11,65

Conclusie uitgewerkte cases

- Goede overeenkomst rekentool & rekennota's
- Eventuele verschillen te wijten aan:
 - Verschillende basisaannames: belastingen, correctiefactoren, ...
 - Detailleringsniveau rekennota, bv. t.g.v. eindige-elementenmethode

C-BRIDGE

TETRA PROJECT

VRAGEN?

Projectteam

Prof. Wouter De Corte

Wouter.DeCorte@UGent.be

Jordi Uyttersprot

Jordi.Uyttersprot@UGent.be

Bram Ingelbinck

Bram.Ingelbinck@UGent.be

Petra Van Itterbeeck

Petra.Van.Itterbeeck@bbri.be