

Memo

Aan
Kopie aan

Van
Afdeling
E-mail

Datum
Referentie
Blad

Onderwerp

Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

Inleiding

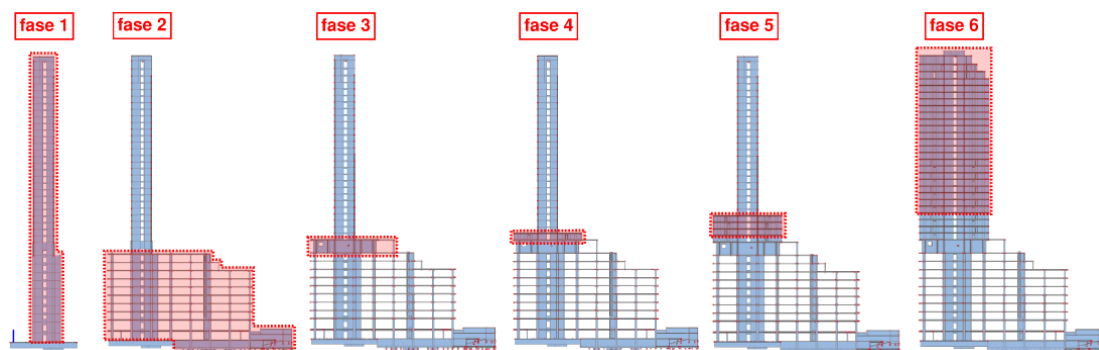
In deze memo wordt een analyse van de bouwfase van de hoogbouwtoren voor het project Tree House te Rotterdam behandeld. Het doel van de analyse is om de ontwikkeling van de snedekrachten in de kolommen en lateien van de hoogbouw gedurende de bouwfase inzichtelijk te maken. De ontwikkeling van de snedekrachten is afhankelijk van het stijfheidsverschil tussen de gevelkolommen en de glijkern.

Toelichting bouwfasering

In Tabel 1 en Figuur 1 wordt de bouwfasering toegelicht vanaf het moment dat de het glijproces van de kernwanden voor de hoogbouw begint ($t=0$). Vanaf de 10^e t/m 38^e verdieping (bovenbouw) is de gemiddelde doorlooptijd per verdieping twee weken. Voor de analyse is de bovenbouw van fijn naar grof opgeknipt in vier fasen.

Fase	Omschrijving	Start		Eind	
		Week	Dag	Week	Dag
1	Glijkern hoogbouw	10	0	22	84
2	Begane grond tot 10e	26	112	55	315
3	10e tot 11e	55	315	57	329
4	11e tot 12e	57	329	59	343
5	12e tot 15e	59	343	65	385
6	15 tot dak	65	385	111	707

Tabel 1. Overzicht bouwfasering voor analyse.



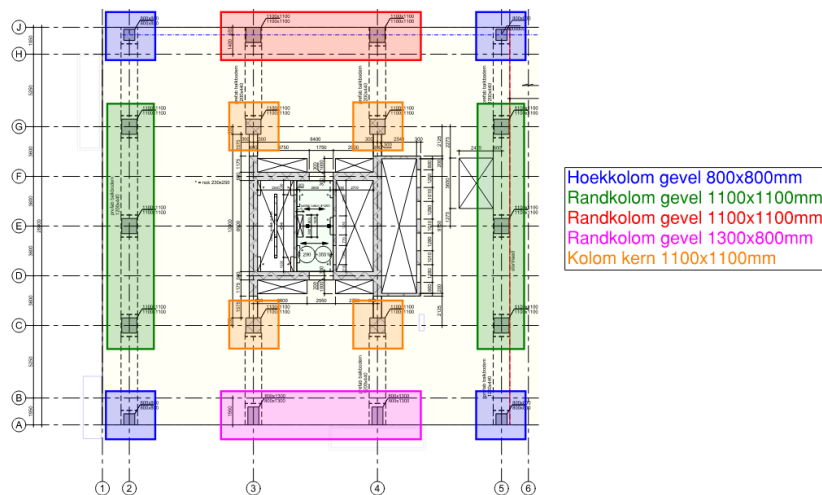
Figuur 1. Grafische weergave bouwfasering voor analyse.

Datum 1 november 2022
 Referentie AE9464-M018_rev0
 Blad 2 van 8

Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

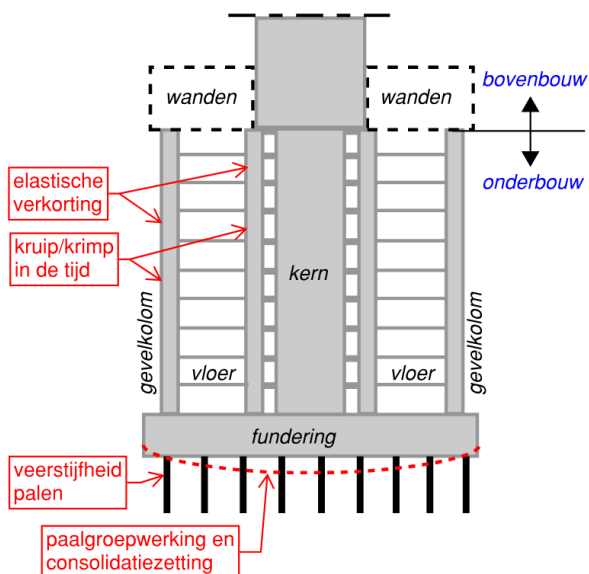
Beschrijving aanpak analyse

De analyse is uitgevoerd middels zes rekenmodellen volgens de bouwfasering in Figuur 1. Om de stijfheidsverschillen tussen de gevel en de kern inzichtelijk te maken zijn op de plattegrond in Figuur 2 verschillende kolomtypen gearceerd.



Figuur 2. Overzicht kolommen hoogbouw bg-10^e verdieping.

In de bouwfase zijn er diverse effecten die een rol spelen in het stijfheidsverschil tussen de gevelkolommen en de glijkern. In Figuur 3 is een overzicht van de effecten weergegeven.



Figuur 3. Diverse stijfheidseffecten tijdens bouwfase.

Datum 1 november 2022
Referentie AE9464-M018_rev0
Blad 3 van 8
Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

Elastische verkorting

Het effect van de elastische (lineaire) verkorting van de elementen is al aanwezig in de rekenmodellen en hoeft dus niet apart mee te worden genomen.

Veerstijfheid palen

De statische veerstijfheid van de palen is lineair met de belastingtoename. Dit effect is al aanwezig in het rekenmodel middels een steunpunt met een lineaire veerstijfheid en hoeft dus niet apart mee te worden genomen.

Paalgroepwerking en consolidatiezetting

De zakking van de palen ten gevolge van de paalgroepwerking en consolidatiezetting zijn in de bouwfasemodellen niet meegenomen. De krachtswerking ten gevolge van deze lange termijn zettingen zijn in het eindfase model wel meegenomen. Hierop is bijvoorbeeld ook de wapening in de kolommen en lateien bepaald.

Kruip- en krimpvervorming

De kruip- en krimpvervorming zijn tijdsafhankelijk en dienen daarom apart in het rekenmodel mee te worden genomen. De kruipvervorming is daarnaast ook belastingsafhankelijk. Voor de kruip- en krimpvervorming zijn de onderstaande uitgangspunten aangehouden.

- Betonsterkteklasse: C55/67
- Cementsoort: R
- Relatieve luchtvochtigheid: 80%

De berekening van de kruip- en krimpvervorming wordt op de volgende bladzijde toegelicht.

Rekenmodellen

In de zes rekenmodellen volgens Figuur 1 zijn de onderstaande uitgangspunten aangehouden.

- Elasticiteitsmodulus beton: $E = E_{cm}$ (voor alle elementen)
- Statische veerstijfheid palen: $k_{stat} = 305 \text{ MN/m}$ (karakteristieke waarde)
- Belastingcombinatie: $1,0 \cdot \text{Eigen gewicht} + 1,0 \cdot \text{Permanent}$
(*Permanent = afwerking vloer, balkon, trappen, gevel*)
- Bij elke nieuwe bouwphase is de massa van de elementen in de voorgaande bouwfasen uitgeschakeld.

Datum 1 november 2022
Referentie AE9464-M018_rev0
Blad 4 van 8
Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

Bepaling kruip- en krimpvervorming

Voor het bepalen van de kruip- en krimpvervorming dient de ouderdom van het beton gedurende de bouwfasen inzichtelijk te worden gemaakt. In Tabel 2 is in een overzicht de ouderdom van de beton kolommen (bg en 9^e verdieping) vanaf de start van bouwfase 3 t/m 6 weergegeven. Doordat de glijkern in fase 1 wordt gebouwd en de gevelkolommen in fase 2 ontstaat een ouderdomsverschil. Op de begane grond is de kolom van de glijkern bijvoorbeeld 112 dagen ouder dan de gevelkolom. De kruip- en krimpvervorming van de wanden zijn niet meegenomen in de berekening.

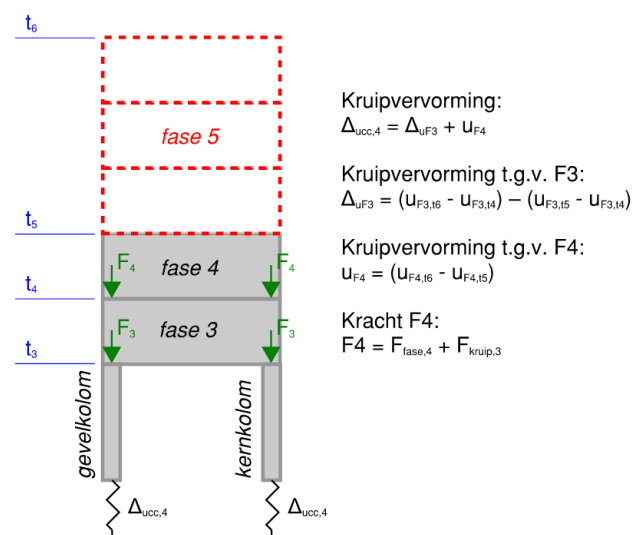
		kolom kern bg	kolom kern 9e	kolom gevel bg	kolom gevel 9e	
start fase 3	t ₃	315	253	203	0	[dagen]
start fase 4	t ₄	329	267	217	14	[dagen]
start fase 5	t ₅	343	281	231	28	[dagen]
start fase 6	t ₆	385	323	273	70	[dagen]
eind fase 6	t ₇	707	645	595	392	[dagen]

Tabel 2. Ouderdom van beton in dagen gedurende de bouwfasen.

Kruipvervorming

De kruipvervormingen zijn bepaald volgens NEN-EN 1992-1-1 art. 3.14 en bijlage B. Onderstaand is toegelicht hoe de kruipvervorming is berekend. Aan het eind van elke bouwfase is berekend wat de kruipvervorming is ten gevolge van de voorgaande bouwfase(n). Als voorbeeld is onderstaand grafisch de kruipvervorming aan het eind van fase 5 (= start fase 6) toegelicht (tijdstip t₆). De formules voor de berekening van de kruipvervorming in alle fasen zijn op de volgende pagina weergegeven.

$\Delta u_{cc,n}$ = kruipvervorming
n = fase



Figuur 4. Grafische weergave kruipvervorming eind bouwfase 5.

Datum 1 november 2022
Referentie AE9464-M018_rev0
Blad 5 van 8
Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

kruipvervorming aan eind fase 4 t.g.v fase 3

$$\Delta u_{cc,3} = u_{F3,t5} - u_{F3,t4}$$

$$F_3 = F_{fase,3}$$

kruipvervorming aan eind fase 5 t.g.v fase 4 (en 3)

$$\Delta u_{cc,4} = \Delta u_{F3} + u_{F4}$$

$$\Delta u_{F3} = (u_{F3,t6} - u_{F3,t4}) - (u_{F3,t5} - u_{F3,t4})$$

$$u_{F4} = u_{F4,t6} - u_{F4,t5}$$

$$F_4 = F_{fase,4} + F_{kruip,3}$$

kruipvervorming aan eind fase 6 t.g.v fase 5 (en 4 en 3)

$$\Delta u_{cc,5} = \Delta u_{F3} + \Delta u_{F4} + u_{F5}$$

$$\Delta u_{F3} = (u_{F3,t7} - u_{F3,t4}) - (u_{F3,t6} - u_{F3,t4})$$

$$\Delta u_{F4} = (u_{F4,t7} - u_{F4,t5}) - (u_{F5,t6} - u_{F5,t5})$$

$$u_{F5} = u_{F5,t7} - u_{F5,t6}$$

$$F_5 = F_{fase,5} + F_{kruip,4}$$

Krimpvervorming

De krimpvervormingen zijn bepaald volgens NEN-EN 1992-1-1 art. 3.14 en bijlage B. Onderstaand is toegelicht hoe de krimpvervorming is berekend. Aan het eind van elke bouwphase is berekend wat de krimpvervorming is ten gevolge van de voorgaande bouwphase(n).

$$\Delta u_{cs,n} = \text{krimpvervorming}$$

krimpvervorming aan eind fase 4 t.g.v fase 3

$$\Delta u_{cs,3} = u_{cs,t5} - u_{cs,t4}$$

krimpvervorming aan eind fase 5 t.g.v fase 4 (en 3)

$$\Delta u_{cs,4} = u_{cs,t6} - u_{cs,t5}$$

krimpvervorming aan eind fase 6 t.g.v fase 5 (en 4 en 3)

$$\Delta u_{cs,5} = u_{cs,t7} - u_{cs,t6}$$

Datum 1 november 2022
Referentie AE9464-M018_rev0
Blad 6 van 8

Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

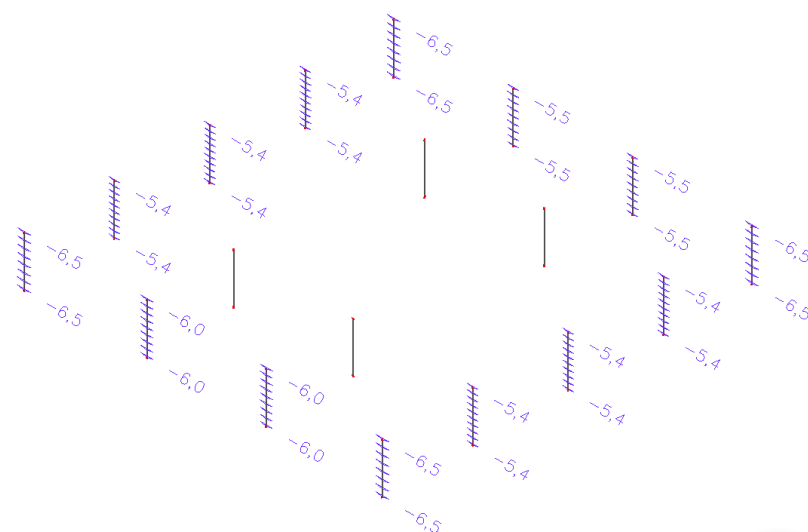
Invoer kruip- en krimpvervorming in rekenmodel

Voor het invoeren van de kruip- en krimpvervorming per bouwphase is een temperatuurslast toegepast op de kolommen tussen de 9^e en 10^e verdieping, zie Figuur 5. Er is gebruik gemaakt van de verschilvervorming ten gevolge van kruip en krimp tussen de gevel- en kernkolom, zie Tabel 3. De temperatuurslast op de kolommen is als volgt berekend:

$$\Delta T = \Delta u / (L_{\text{kolom}} \cdot \alpha) = \Delta u / (3750 \cdot 1,0 \cdot 10^{-5})$$

Kruip					
bouwphase					
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3	0,08	0,17	0,21	0,17	0,19
4	0,12	0,22	0,20	0,17	0,18
5	0,50	0,74	0,86	0,70	0,78
Krimp		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3	0,01	0,13	0,13	0,13	0,13
4	0,03	0,21	0,21	0,21	0,21
5	0,08	0,32	0,32	0,32	0,32
Δ Kruip t.o.v. kern		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3		0,09	0,13	0,09	0,11
4		0,09	0,08	0,04	0,06
5		0,24	0,36	0,20	0,28
Δ Krimp t.o.v. kern		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3		0,11	0,11	0,11	0,11
4		0,18	0,18	0,18	0,18
5		0,25	0,25	0,25	0,25
Δ Kruip+krimp t.o.v. kern		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
3		0,20	0,24	0,21	0,22
4		0,28	0,26	0,23	0,24
5		0,49	0,60	0,44	0,53
Δ Kruip+krimp $\rightarrow \Delta T$		[K]	[K]	[K]	[K]
3		-5,4	-6,5	-5,5	-6,0
4		-7,4	-7,0	-6,0	-6,4
5		-13,0	-16,0	-11,8	-14,1

Tabel 3. Kruip- en krimpvervormingen per bouwphase.



Figuur 5. Invoer kruip- en krimpvervorming als temperatuurslast t.g.v. bouwphase 3.

Datum 1 november 2022
Referentie AE9464-M018_rev0
Blad 7 van 8
Onderwerp Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

Resultaten: normaalkrachten in kolommen

Voor een beschouwing van de normaalkrachten in de kolommen is een vergelijking gemaakt tussen de som van de normaalkrachten uit de bouwfasemodellen en het model van de eindfase, zie Tabel 4. In het model van de eindfase is de totale massa van het gebouw vanaf $t=0$ dagen aanwezig. Uit de tabel volgt dat de gemiddelde normaaldrukkracht in de kolommen van de glijkern ten gevolge van de bouwfasering is toegenomen met max. ~1.500 kN. De additionele normaalkrachten aan het eind van de bouwphase zijn eenvoudig opneembaar door de kolommen van de glijkern. De normaaldrukkracht in de gevelkolommen is afgenomen met ~200 á 2.100 kN.

	ΔN [kN]	ΔN [kN]
	BG	9e
	-1495	-897
	387	190
	667	702
	2121	1987
	1819	1663

Tabel 4. Verschil normaalkrachten in kolommen tussen bouwfasemodel en eindfasemodel.

Resultaten: dwarskracht in lateien

Voor een beschouwing van de krachten in de lateien is een vergelijking gemaakt tussen de som van de dwarskrachten uit de bouwfasemodellen en het model van de eindfase, zie Tabel 5. De additionele dwarskrachten aan het eind van de bouwphase zijn eenvoudig opneembaar door de lateien.

Verdieping	Glijkern		Prefab	
	as 3 en 4 [kN]	as D en F [kN]	as 3 en 4 [kN]	as C,E,G [kN]
1	+210-300	+0-30	-	-
2	+110-170	+0-30	-	-
3	+50-70	+0-30	-	-
4	+30-40	+0-30	-	-
5	+0-30	+0-30	-	-
6	+0-30	+0-30	-	-
7	+0-30	+0-30	-	-
8	+30-50	+0-30	-	-
9	+30-90	+0-30	-	-
10	+110-370	+0-30	-	-
11	-	-	-	-
12	+0-70	+0-30	-	-
13	+0-70	+0-30	+30-50	-
14	+0-70	+0-30	+30-50	-
15	+0-70	+0-30	-	-
16 t/m 38	+0-70	+0-30	+0-30	+0-30

Tabel 5. Verschil dwarskrachten in lateien tussen bouwfasemodel en eindfasemodel.

Datum	1 november 2022
Referentie	AE9464-M018_rev0
Blad	8 van 8
Onderwerp	Tree House, Rotterdam – Analyse bouwfase hoogbouw (TO-fase)

Conclusie

In de bouwfase is er sprake van een stijfheidsverschil tussen de gevelkolommen en de glijkern. Het stijfheidsverschil in de bouwfase wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door kruip- en krimpvervorming. De kruip- en krimpvervorming zijn met name afhankelijk van het verschil in ouderdom van het beton en het verschil in belasting. Door het stijfheidsverschil ontstaan er in bouwfase additionele normaalkrachten in de kolommen van de glijkern. Daarnaast ontstaan er ook additionele dwarskrachten in de lateien van de glijkern en de prefabwanden. De additionele snedekrachten in de kolommen en lateien ten gevolge van de bouwfasering zijn eenvoudig opneembaar door de elementen.

Op lange termijn speelt het effect van paalgroepwerking en consolidatiezetting een grote rol. Door dit effect zal de glijkern minder stijf reageren dan de gevelkolommen. De krachtswerking ten gevolge van deze lange termijn zettingen zijn in het eindfase model meegenomen. Hierop is bijvoorbeeld ook de wapening in de kolommen en lateien bepaald.