

Centrum Pæle

Statisk dokumentation af pælelængder ved
afformning, oplagring og rejsning til ramning



25-11-2022

Indholdsfortegnelse

1. Sammenfatning.....	3
1.1. Lagerførte standardpælelængder	3
1.2. Tilladte pælelængder.....	4
1.3. Referencer	4
2. Beregningsgrundlag.....	5
2.1. Normer og standarder	5
2.2. Materialer	5
2.3. Beregningsforudsætninger	6
2.4. Beregningsgrundlag for egenlast	7
3. Beregning af maksimalt tilladelige pælelængder.....	8
3.1. Generelt	8
3.2. Løftesituationer.....	8
3.3. Trækpåvirkning i løftebøjler i løftesituationer	9
3.4. Bøjningspåvirning i løftesituationer	9
3.5. Bæreevne af løftebøjler	10
3.6. Bæreevne af pæle ved 40 mm dæklag.....	10
3.7. Bæreevne af pæle ved 50 mm dæklag.....	11
4. Resultater af maks tilladelige pælelængder	12
4.1. Pælelængder ved anvendelse af kædeslæng.....	12
4.2. Pælelængder ved anvendelse af løftebøjler.....	13

1. Sammenfatning

Nærværende statiske dokumentation af pælelængder vedrører eftervisning af længderne af Centrum Pæles standard pælesortiment ved påvirkninger i forbindelse med afformning, oplagring på byggeplads samt rejsning op under hammer til ramning af pælen. Den statiske dokumentation danner grundlag for håndteringsanvisningen reference \1\.

Ved en given armering, angivet ved en pæletype (= antallet af 12 mm armeringsstænger i tværsnittet), er pælens maksimalt tilladeligt længde bestemt ved beregning for de løftesituationer der opstår indtil pælen rammes. Maksimalt statisk tilladelige pælelængder er sammenfattet i det følgende. Uanset armering er den øvre grænse for pælelængden 18 m af hensyn til logistik.

1.1. Lagerførte standardpælelængder

De mest anvendte kombinationer af dimension og type for standardpælene (med nominelt dækklag $c_{nom} = 40 \text{ mm}$) lagerføres i varierende længder i hele metre. Koblingspæle, hvor pælen støbes med en kobling i den ene ende, lagerføres i én armeringstype for hver dimension.

Tabel 1-1 Lagerførte standardpæles længder med spring på én meter

Dimension [mm]	Kobling	Type 4 Stålareal 452 mm ²	Type 6 Stålareal 679 mm ²	Type 8 Stålareal 905 mm ²	Type 12 Stålareal 1357 mm ²	Type 16 Stålareal 1810 mm ²	Type 20 Stålareal 2261 mm ²
250x250	÷ CPG-K4	6-10 m	11-14 m 7-14 m	15-16 m	17-18 m		
300x300	÷ CPG-K4		6-10 m	11-15 m 7-14 m	16-18 m		
350x350	÷ CPG-K4			6-10 m	11-17 m 7-14 m	18 m	
400x400	÷ CPG-K4				6-16 m 7-14 m	(17-18 m)	
450x450	÷ CPG-K4					(6-17 m) (6-14 m)	(18 m)

() = lagerføres kun i begrænset antal

1.2. Tilladte pælelængder

Ved rejsning til ramning er der to muligheder som beskrevet i afsnit 3.2 og reference \1\ . De angivne tilladte pælelængder herunder gælder for både 40 og 50 mm dæklag.

Ved løftemetode (A) hvor pælen rejses til ramning ved brug af kædeslæng tillades alle lagerførte pælelængder jf. Tabel 1-1.

Ved løftemetode (B) hvor pælen rejses til ramning i en løftebøjle, er de tilladte pælelængder begrænsede. Begrænsningen fremgår af Tabel 1-2, og standardpæle længere end det anførte skal derfor løftes efter metode (A).

Tabel 1-2 Tilladte pælelængder ved anvendelse af løftebøjle, løftemetode (B)

Dimension [mm]	Type 4 Stålareal 452 mm ²	Type 6 Stålareal 679 mm ²	Type 8 Stålareal 905 mm ²	Type 12 Stålareal 1357 mm ²	Type 16 Stålareal 1810 mm ²	Type 20 Stålareal 2261 mm ²
250x250	Alle standard pælelængder	Op til 13 meter	Op til 15 m	Op til 17 m		
300x300		Alle standard pælelængder	Op til 14 m	Op til 17 m		
350x350			Alle standard pælelængder	Op til 16 m	Op til 18 m	
400x400				Op til 13 m	Op til 13 m	
450x450					Op til 11 m	Op til 11 m

1.3. Referencer

- \1\ Centrum Pæle, Håndteringsanvisning for pæle på byggepladsen, version 4, 25-11-2022
- \2\ Verwendung von doppelschalufigen Transportankern (dTÄ) in Stahlbetonrammpfählen der Firm Centrum Paele in Vejle, Dänemark, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, dateret 20.05.2005

2. Beregningsgrundlag

2.1. Normer og standarder

Normer og standarder:

DS/EN 1990:2007 + /A1:2006 + /A1/AC:2010 + DK NA:2021 + /A1 DK NA:2017	Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner
DS/INF 1990:2021+Till.1:2022	Konsekvensklasser for bygningskonstruktioner
DS/EN 1992-1-1 + /AC:2008 + /A1:2015 + DK NA:2021	Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner
DS/EN 12794 + /A1:2007 + AC:2008	Præfabrikerede betonelementer – Funderingspæle
DS/EN 10080:2006	Armeringsstål til beton - Svejselige armeringsstål – Generelt
DS/INF 1990:2021+Till.1:2022	Konsekvensklasser for bygningskonstruktioner

2.2. Materialer

Beton:

Kontrolklasse	Skærpet
Betondensitet	$\leq 2400 \text{ kg/m}^3$
Styrkeklasse	C50/60 $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$
Trykstyrke ved afformning og løft på lager	Minimum $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ (C20/25)
Trykstyrke ved levering, løft på pladsen og rejsning til ramning	Minimum $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ (C45/55)

Armering:

Kontrolklasse	Skærpet
Hovedarmering	Ø12 mm armering i duktilitetsklasse B med karakteristisk 0,2% spænding på 500 MPa
Bøjlearmering (glad)	Ø5 mm armering med karakteristisk 0,2% spænding på 400 MPa

Løftebøjler:

Kontrolklasse	Normal
Stålkvalitet	S355J2 N med en karakteristisk flydespænding på 355 MPa
GS-Prüfbescheinigung	Nr. BAU/TB 10500

2.3. Beregningsforudsætninger

Konsekvensklasse:

De efterviste løftesituationer er indplaceret i lav konsekvensklasse (CC1), hvor partialkoefficienterne påføres en faktor $K_{FI} = 0,9$. Når pælene efter ramning indgår i en midlertidig eller permanent konstruktion, kan de indplacere i en anden (højere) konsekvensklasse. Indplacering i konsekvensklasse beror på en vurdering af konsekvenserne af et svigt jævnfør DS/INF 1990:2021+Till.1:2022. Løft- og transport af pæle er en midlertidig situation uden nævneværdig risiko for hverken mennesker eller ejendom. Selve løftegrejet skal naturligvis have den sikkerhed, som normalt fordres af løftegrej (kæder mv.), der bruges dagligt.

Grænsetilstande, lastkombinationer og partialkoefficienter:

Pælenes længder ved løftesituationer er eftervist i brudgrænsetilstanden (ULS) i lastkombinationerne STR/GEO 1 og 3 (formel (6.10a)) jf. DS/EN 1990 DK NA:2021 tabel A1.2(B+C).

- I STR/GEO 1 er lastpartialkoefficienten på egenvægt $\gamma_{Gj,sup} = 1,2 \cdot K_{FI} = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08$ og faktoren på partialkoefficienter for styrkeparametre for konstruktionsmaterialer $\gamma_0 = 1,0$.
- I STR/GEO 3 er lastpartialkoefficienten på egenvægt $\gamma_{Gj,sup} = 1,2$ og faktoren på partialkoefficienter for styrkeparametre for konstruktionsmaterialer $\gamma_0 = K_{FI} = 0,9$.

Lastkombinationerne STR/GEO 2 og 4 er mindre kritiske.

Yderligere er pælelængderne eftervist i anvendelsesgrænsetilstanden (SLS) ved kontrol af spændingsbegrænsning i armering $\sigma_s \leq f_{yk}$ og i beton $\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$. Dette sikrer, at pælene ved korrekt løft kun påvirkes elastisk. Kontrol af nedbøjning og revnevidder vurderes ikke relevante, idet løftesituationerne ikke omfatter specifikke krav til menneskers komfort, bygværkets udseende eller permanent brug af konstruktionsdelen.

Stødtillæg:

Forudsætningerne for løftesituationerne er fastlagt i samarbejde med Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technische Universität Braunschweig og det tyske Bau-Berufsgenossenschaft.

- Ved afformning og løft på lager (to-punkts løft) forøges betonens egenlast med et stødtillæg $\gamma_{kd,dyn} = 1,3$.
- I bæreevneberegningerne for håndtering på byggepladsen forøges betonens egenlast med et stødtillæg $\gamma_{kd,dyn} = 1,6$. Dette er i overensstemmelse med DS/EN 12794 afsnit B.2.3 P(2).

I anvendelsesgrænsetilstanden (SLS) sættes stødtillægget til $\gamma_{kd,dyn} = 1,1$ i alle løftesituationer.

2.4. Beregningsgrundlag for egenlast

Pælenes beregnede egenvægt og egenlast for hvert enkelt pæletværsnit og armeringstype fremgår af Tabel 2-1 og Tabel 2-2. Der anvendes en tyngdeacceleration på $9,82 \frac{m}{s^2}$.

Tabel 2-1 Pælenes egenvægt per meter [kg/m]

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	153	154	156	158	161	
300x300		221	222	224	227	229
350x350			300	303	305	308
400x400				393	395	398
450x450					497	500

Tabel 2-2 Pælenes egenlast per meter g_k [kN/m]

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	1,50	1,52	1,53	1,55	1,58	
300x300		2,17	2,18	2,20	2,23	2,25
350x350			2,95	2,97	3,00	3,02
400x400				3,86	3,88	3,91
450x450					4,89	4,91

3. Beregning af maksimalt tilladelige pælelængder

3.1. Generelt

Ved beregning af de tilladelige pælelængder er de tre løftesituationer beskrevet i det følgende sider bestemmende. Følgende begrænsninger gør sig gældende (se også afsnit 2.3):

- Momentbrudbæreevnen, afhængig af pæletypen (ULS)
- Løftebøjlernes brudbæreevne, afhængig af diameteren på de anvendte dobbelte løftebøjler (ULS)
- Spændingsbegrænsning i armering $\sigma \leq f_{yk}$ og i beton $\sigma \leq 0,6 f_{ck}$ (SLS)

3.2. Løftesituationer

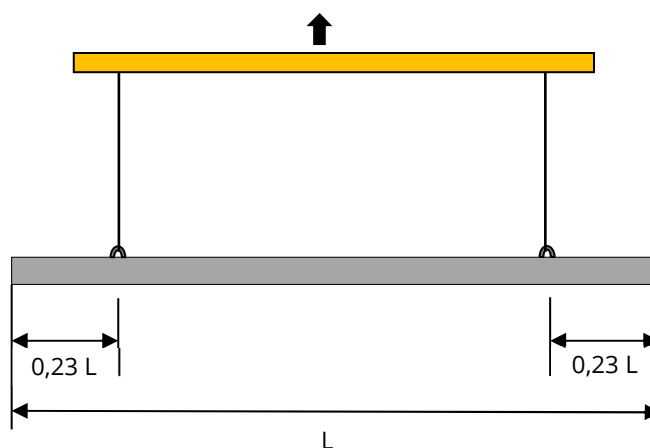
Løftesituation 1 (to-punkts løft):

Afformning, læsning, intern transport til lager osv.
ved brug af løftebøjler placeret $0,23 \cdot L$ fra enderne.

Beton C20/25.

Bøjning forekommer parallelt med en side.

Kraft i løftebøjler 90° med pæleaksen.



Figur 3-1 Løftesituation 1 (to-punkts løft)

Løftesituation 2 (to-punkts løft eller understøtning):

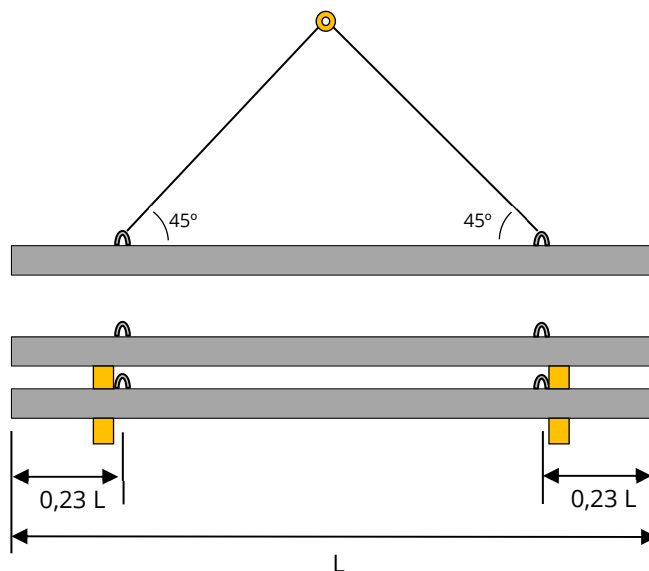
Løft på byggepladsen eller lagring på byggepladsen.
Ved lagring understøttes pælene i minimum 2 punkter lige på ydersiden af løftebøjlen ($0,23 \cdot L$ fra enderne).

Beton C45/55.

Bøjning forekommer parallelt med en side.

Der ses bort fra tryk i pælen mellem løftepunkterne pga. løft med skrå kæder på den sikre side (beregnes for ren bøjning).

Understøtningernes placering regnes lig med løftebøjlernes placering.



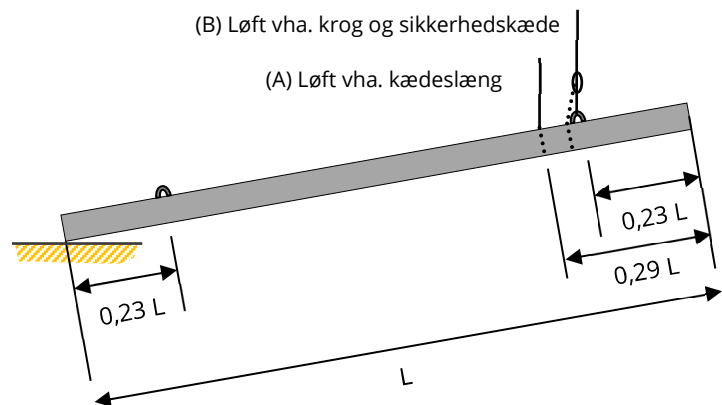
Figur 3-2 Løftesituation 2 (to-punkts løft eller understøtning)

Løftesituation 3 (et-punkts løft):

Trækning af pæl samt rejsning op under hammeren ved brug af kædeslæng (A) eller den ene løftebøjle (B).

Beton C45/55.

- (A) Ved brug af kæde skal pælen løftes $0,29 \cdot L$ fra enden for at sikre optimal momentfordeling.
Det sikres ved håndteringen, at bøjning kun forekommer parallelt med en side.



Figur 3-3 Løftesituation 3 (et-punkts løft)

- (B) Ved løft i løftebøjle løftes pælen $0,23 \cdot L$ fra enden. Bøjning forekommer parallelt med en side. Situationen med løft i vandret pæl er mest kritisk for bøjning af pæletværsnittet, mens situationen hvor pælen hænger lodret er mest kritisk for løftebøjlen (kraft i løftebøjlen 0° med pæleaksen).

3.3. Trækpåvirkning i løftebøjler i løftesituationer

I løftesituation 1 kan trækraften i løftebøjlerne 90° med pæleaksen bestemmes som:

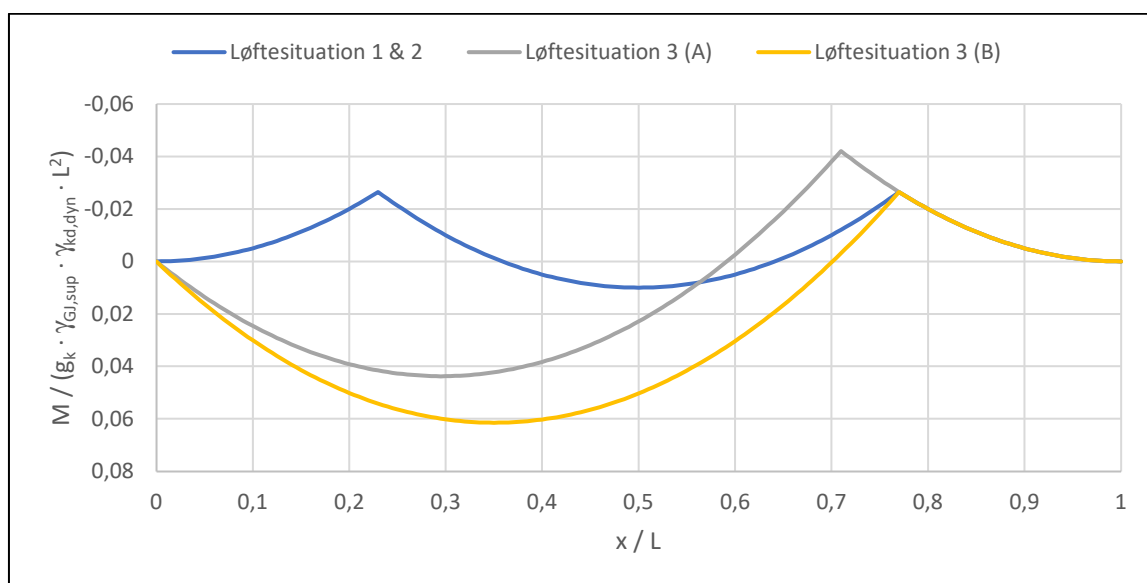
$$F_{Ed,1} = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot \frac{L}{2}$$

I løftesituation 3 (B) kan trækraften i løftebøjlen 0° med pæleaksen bestemmes som:

$$F_{Ed,3(B)} = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot L$$

3.4. Bøjningspåvirkning i løftesituationer

Bøjningsdiagrammer for løftesituationerne for en pæl med en enhedslængde og en enhedstygde per enhedslængde kan ses af Figur 3-4.



Figur 3-4 Enhedsmomentdiagrammer i løftesituationer

I løftesituation 1 og 2 kan det maksimale moment (numerisk) bestemmes til:

$$M_{Ed,1} = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot \frac{0,23^2}{2} \cdot L^2 = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot 0,0265 \cdot L^2$$

I løftesituation 3 (A) og 3 (B) kan det maksimale moment (numerisk) bestemmes til:

$$M_{Ed,3(A)} = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot \left(\frac{1 - 0,29}{2} - \frac{0,29^2}{2} \cdot \frac{1}{1 - 0,29} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L^2 = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot 0,0437 \cdot L^2$$

$$M_{Ed,3(B)} = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot \left(\frac{1 - 0,23}{2} - \frac{0,23^2}{2} \cdot \frac{1}{1 - 0,23} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L^2 = g_k \cdot \gamma_{Gj,sup} \cdot \gamma_{kd,dyn} \cdot 0,0615 \cdot L^2$$

3.5. Bæreevne af løftebøjler

Kontrollen af løftebøjlernes bæreevne er foretaget af Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig – se reference \2\.. Løftebøjlernes bæreevne fremgår af Tabel 3-1.

*Tabel 3-1 Bæreevne af løftebøjler R_{bd}
(lastkombination STR/GEO 1 / STR/GEO 3) [kN]*

Diameter på dobbelt løftebøjle	Løftesituation 1: Beton C20/25 Kraft i løftebøjlen 90° med pæleaksen.	Løftesituation 3 (B): Beton C45/55 Kraft i løftebøjlen 0° med pæleaksen.
Ø 12 mm	39,4 / 43,8	44,8 / 49,8
Ø16 mm	56,8 / 63,1	54,1 / 60,1

Løftesituation 2 er ikke kritisk for løftebøjlerne idet betonen er hærdet til fuld styrke mens påvirkningen svarer til løftesituation 1.

3.6. Bæreevne af pæle ved 40 mm dæklag

I løftesituation 1, hvor pælene afformes og transporteres på lageret, har betonen en trykstyrke svarende til minimum C20/25. Pælenes momentbæreevner ved denne løftesituation fremgår af Tabel 3-2.

I løftesituation 2 og 3 er pælene hærdet til betonstyrkeklasse C45/55. Pælenes momentbæreevner ved disse løftesituationer fremgår af Tabel 3-3.

*Tabel 3-2 Momentbæreevne M_{Rd} ved afformning for C20/25, $c_{nom} = 40$ mm, bøjning parallelt med side
(lastkombination STR/GEO 1 / STR/GEO 3) [kNm]*

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	19 / 21	26 / 29	33 / 37	46 / 51	58 / 63	
300x300		35 / 39	45 / 49	62 / 69	80 / 88	96 / 106
350x350			56 / 62	79 / 87	101 / 112	123 / 136
400x400				95 / 105	123 / 136	150 / 165
450x450					144 / 160	176 / 195

Tabel 3-3 Momentbæreevne M_{Rd} hærdet til C45/55, $c_{nom} = 40$ mm, bøjning parallelt med side (lastkombination STR/GEO 1 / STR/GEO 3) [kNm]

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	22 / 25	31 / 34	39 / 43	54 / 60	67,9 / 75,3	
300x300		40 / 44	50 / 56	71 / 79	90 / 100	109 / 121
350x350			62 / 68	88 / 98	113 / 125	137 / 152
400x400				104 / 116	135 / 150	164 / 182
450x450					156 / 174	191 / 212

3.7. Bæreevne af pæle ved 50 mm dæklag

I løftesituation 1, hvor pælene afformes og transporteres på lageret, har betonen en trykstyrke svarende til minimum C20/25. Pælenes momentbæreevner ved denne løftesituation fremgår af Tabel 3-4.

I løftesituation 2 og 3 er pælene hærdet til betonstyrkeklasse C45/55. Pælenes momentbæreevner ved disse løftesituationer fremgår af Tabel 3-5.

Tabel 3-4 Momentbæreevne M_{Rd} ved afformning for C20/25, $c_{nom} = 50$ mm, bøjning parallelt med side (lastkombination STR/GEO 1 / STR/GEO 3) [kNm]

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	19 / 21	25 / 28	31 / 34	41 / 46	49,8 / 54,4	
300x300		34 / 38	43 / 47	58 / 65	73 / 81	87 / 96
350x350			54 / 60	75 / 83	95 / 106	114 / 126
400x400				92 / 102	118 / 130	142 / 157
450x450					139 / 155	169 / 187

Tabel 3-5 Momentbæreevne M_{Rd} hærdet til C45/55, $c_{nom} = 50$ mm, bøjning parallelt med side (lastkombination STR/GEO 1 / STR/GEO 3) [kNm]

Pæledimension [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	22 / 25	31 / 35	39 / 43	52 / 58	63,9 / 70,8	
300x300		40 / 45	51 / 56	70 / 77	87 / 97	104 / 115
350x350			62 / 69	87 / 96	110 / 122	132 / 147
400x400				104 / 115	133 / 147	160 / 178
450x450					155 / 172	188 / 209

4. Resultater af maks tilladelige pælelængder

Den valgte løftemetode til ramning (se afsnit 3.2) er dimensionsgiven for maksimalt tilladelige pælelængder. Derfor skelnes der i de følgende resultater mellem kædeslæng metode (A) og løftebøjle metode (B).

4.1. Pælelængder ved anvendelse af kædeslæng

Ved løft af pælen, som beskrevet i pkt. 3.2 under løftesituation 3 (A), med anvendelse af kædeslæng placeret med afstanden $0,29 \cdot L$ fra pæleenden er de maksimalt tilladelige pælelængder vist i nedenstående tabeller.

NB: Af produktions- og logistikmæssige årsager er faktiske pælelængder (Tabel 1-1) i nogle tilfælde kortere.

Tabel 4-1 Maksimalt tilladelige pælelængder (40 mm dæklag) ved anvendelse af kædeslæng [m]

Pæledimension [mm]	Løftebøjler [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	Ø12	14,0	16,5	18,3	19,5	20,2	
300x300	Ø12		15,6	17,5	20,7	21,9	22,6
350x350	Ø16			16,6	19,8	22,3	24,1
400x400	Ø16				18,9	21,4	23,6
450x450	Ø16					20,6	22,7

Tabel 4-2 Maksimalt tilladelige pælelængder (50 mm dæklag) ved anvendelse af kædeslæng [m]

Pæledimension [mm]	Løftebøjler [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	Ø12	14,0	16,0	17,0	18,1	18,7	
300x300	Ø12		15,7	17,5	19,8	20,6	21,2
350x350	Ø16			16,7	19,7	22,0	22,8
400x400	Ø16				18,9	21,3	23,3
450x450	Ø16					20,5	22,5

4.2. Pælelængder ved anvendelse af løftebøjler

Ved løft af pælen i en løftebøjle, som beskrevet i pkt. 3.2 under løftesituation 3 (B), skal der altid anvendes sikkerhedskæde, som griber pælen, hvis løftebøjlen overbelastes og svigter under håndteringen. Løftebøjlen er placeret $0,23 \cdot L$ fra pæleenden for både at tilgodese anvendelsen under afformning og løft på byggeplads, hvilket betyder begrænsninger på maks. pælelængde i forhold til det traditionelle kædeslæng. Maks. tilladelige pælelængder ved brug af løftebøjle er vist i nedenstående tabel.

NB: Af produktions- og logistikmæssige årsager er faktiske pælelængder (Tabel 1-1) i nogle tilfælde kortere.

Tabel 4-3 Maksimale tilladelige pælelængder (40 mm dæklag) ved anvendelse af løftebøjler [m]

Pæledimension [mm]	Løftebøjler [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	Ø12	11,8	13,7	15,5	18,1	19,1	
300x300	Ø12		13,1	14,8	17,4	19,5	19,9
350x350	Ø16			14,0	16,7	18,1	17,9
400x400	Ø16				14,0	13,9	13,8
450x450	Ø16					11,1	11,0

Tabel 4-4 Maksimale tilladelige pælelængder (50 mm dæklag) ved anvendelse af løftebøjler [m]

Pæledimension [mm]	Løftebøjler [mm]	Type 4	Type 6	Type 8	Type 12	Type 16	Type 20
250x250	Ø12	11,8	13,9	15,4	17,1	17,7	
300x300	Ø12		13,2	14,8	17,3	19,2	19,9
350x350	Ø16			14,1	16,6	18,1	17,9
400x400	Ø16				14,0	13,9	13,9
450x450	Ø16					11,1	11,0