

Onderzoeksrapport

Parametrisch ontwerpen van een betonvloer op palen



Auteurs:

M.H.J. (Mats) Holterman & R. (Rick) Nijeboer

Onderwijsinstelling:

Windesheim University of Applied Sciences Zwolle

Opleiding:

Bouwkunde (Architecture and Construction Engineering)

Afstudeerbedrijf:

Ten Brinke

Datum: 04-06-2024

Colofon

Auteurs:

M.H.J. (Mats) Holterman
S1156273
mhjholterman@gmail.com

R. (Rick) Nijeboer
S1143221
ricknijeboer@gmail.com

Betrokkenen:

Dit onderzoek is uitgevoerd ten behoeve van de afronding van de bacheloropleiding Bouwkunde voltijd.
Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van:



Hogeschool Windesheim
Campus 2
8017 CA, Zwolle

Ten Brinke (Almelo)
Twentepoort Oost 14
7609 RG, Almelo

Eerste begeleider:

ing. J. (Jan) de Haan
j.dehaan1@windesheim.nl

Bedrijfsbegeleider:

ir. H. J. (Henk) Naafs
HNaafs@tenbrinke.com

Tweede begeleider:

ir. G. (Gerald) Smilda
g.smilda@windesheim.nl

Afstudeerperiode: februari t/m juni 2024

Voorwoord

Dit rapport omschrijft een onderzoek naar het parametrisch ontwerpen van een betonvloer op palen. Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Ten Brinke Advies & Engineering, onderdeel van Ten Brinke Nederland en dient tevens als eindproduct voor de meesterproef van de bacheloropleiding Bouwkunde aan de Hogeschool Windesheim te Zwolle.

Vanuit de afdeling Ten Brinke Advies & Engineering van Ten Brinke kwam de vraag, of er een onderzoek kon worden uitgevoerd naar het parametrisch ontwerpen van een betonvloer op palen, waarbij naast het technische aspect ook de duurzame en financiële aspecten kon worden onderzocht. Deze vraag sprak ons heel erg aan, omdat het onderwerp ons interessant leek en wij het duurzame aspect ook heel belangrijk vinden.

Tijdens het uitvoeren van het onderzoek hebben wij veel geleerd over een betonvloer op palen. Wij zijn verrast door het grote aantal variabelen, dat bij een betonvloer op palen komt kijken. Tevens waren de berekeningen, die gedaan moesten worden grotendeels nieuwe kennis voor ons. Daarnaast hebben wij vanuit Ten Brinke de mogelijkheid gehad om naar het storten van een betonvloer op palen te kijken. Deze ervaring was voor ons heel waardevol, want hierdoor kregen wij een beter inzicht in hoe het in de praktijk in zijn werk gaat.

Graag willen wij iedereen bedanken, die ons geholpen heeft tijdens de uitvoering van het onderzoek. In het bijzonder willen wij onze bedrijfsbegeleider Henk Naafs bedanken voor zijn begeleiding bij het leren begrijpen en uitvoeren van een statische berekening van een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer. Als wij vragen hadden konden wij altijd bij hem terecht. Ondanks het feit dat wij niet elke dag op kantoor aanwezig waren, was de begeleiding heel goed.

Verder willen wij onze schoolbegeleider Jan de Haan bedanken. Tijdens de begeleidingen hebben wij altijd hele waardevolle tussentijdse feedback en tips ontvangen waardoor het eindresultaat beter werd. Wanneer de begeleiding niet op school plaats kon vinden, was de begeleiding via Teams altijd nog mogelijk. Hierdoor hebben wij toch één begeleidingsmoment elke twee weken gehad.

Tot slot willen wij de mensen, die ons rapport hebben doorgelezen en hebben gecontroleerd op de taal- en spellingsfouten bedanken.

Mats Holterman & Rick Nijeboer

Almelo, 4 juni 2024

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	6
Summary	7
Abstract	8
Leeswijzer	9
Begrippenlijst	10
Symbolenlijst	11
Hoofdstuk 1: Inleiding	16
Hoofdstuk 2: Aanleiding	17
Hoofdstuk 3: Probleemstelling, doelstelling en onderzoeksvragen	18
3.1 Probleemstelling	18
3.2 Doelstelling	18
3.3 Hoofdvraag	19
3.4 Deelvragen	19
3.5 Framework model	20
Hoofdstuk 4: Onderzoeksmethoden	21
Hoofdstuk 5: Afbakeningen	23
Hoofdstuk 6: Beantwoorden onderzoeksvragen	25
Deelvraag 1: Hoe wordt een ontwerp gemaakt van een constructieve betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, waarbij de naleving van de vigerende regelgeving wordt gewaarborgd?	25
6.1.1 Algemeen	25
6.1.2 Belastingen	25
6.1.3 Schematisering	31
6.1.4 Krachtswerking	34
6.1.5 Toetsing	49
Deelvraag 2: Hoe wordt het financiële aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?	77
Deelvraag 3: Hoe wordt het duurzaamheidsaspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?	79
Deelvraag 4: Wat is het huidige ontwerpproces voor een betonvloer op palen bij Ten Brinke?	81
Deelvraag 5: Hoe kan het ontwerpproces voor een constructieve betonvloer op palen worden gecombineerd met de duurzame en financiële aspecten, zodat het ontwerp van de betonvloer op palen geoptimaliseerd is op de technische, financiële en duurzame gebieden?	83

Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen	86
7.1 Conclusie	86
7.2 Discussie	87
7.3 Aandachtspunten	87
7.4 Aanbevelingen	87
Hoofdstuk 8: Referenties	88
Hoofdstuk 9: Bijlagen	90
Aanbevolen toelaatbare paalbelasting volgens IJB-groep	90
Aanbevolen toelaatbare paalbelasting volgens Vroom Funderingstechnieken	91
Beschikbare B-Wapeningsnetten	92
Spanning-rekrelatie van staalvezelversterktbeton	93
Spanning-rekrelatie van staalvezelversterktbeton (vereenvoudigd)	93
Interview Bart Wight; Bekaert	95
Interview Niki Loonen; ABT	104
Interview Coen Kuipers; Ten Brinke	115
Interview Henk Naafs; Ten Brinke	121
Stappenplan ontwerptool	124
Case studies	125
Uitdraai Excel-bestand	127
GTB-Tabellen	180

Samenvatting

“Ten Brinke is een ontwikkelde bouwer en bouwende ontwikkelaar.” (Ten Brinke, z.d.). Zij doen alles wat met bouw en projectontwikkeling te maken heeft en beheersen alle facetten van de onroerendgoedmarkt, van concept tot aan realisatie.

Dit onderzoek richt zich op het versnellen en optimaliseren van het ontwerpproces voor een betonvloer op palen. De hoofdconstructeur van Ten Brinke op de vestiging in Almelo merkte dat vaak veel tijd in beslag genomen wordt door het ontwerpen van een betonvloer op palen voor een bedrijfshal. Verder liep hij tegen het probleem aan dat hij niet op voorhand met zekerheid wist dat hij tot het meest optimale ontwerp komt, waarbij ook rekening wordt gehouden met het financiële- en duurzaamheidsaspect. Op die manier worden mogelijk vaak onnodig veel materialen gebruikt, omdat het bijvoorbeeld met een dunnere vloer ook was gelukt.

Het doel van dit onderzoek is een manier vinden waarop Ten Brinke het meeste optimale ontwerp voor een betonvloer op palen realiseert, waarbij ook rekening wordt gehouden met het financiële en duurzaamheidsaspect. Met het financiële aspect wordt de kostprijs van de betonvloer op palen bedoeld. Wanneer dit geoptimaliseerd is kan Ten Brinke meer winst maken op panden vanuit de eigen ontwikkeling, of de panden goedkoper verkopen, waardoor zij meer panden gaan verkopen. Daarnaast werkt Ten Brinke projecten uit voor een opdrachtgever. Deze opdrachtgevers benaderen vaak verschillende bedrijven en kiezen vervolgens het goedkoopst aanbod. Wanneer het proces versneld is en de kostprijs naar beneden gebracht is, is de kans groot dat Ten Brinke meer opdrachten krijgt van verschillende opdrachtgevers. Duurzaamheid is het tweede aspect waar rekening mee is gehouden in dit onderzoek. Hiermee wordt de CO₂-impact bedoeld. “De kans bestaat dat de regelgeving rondom het uitstoten van CO₂ steeds strenger wordt.” (Loonen, 2024). De ontwerptool geeft een waarde voor de CO₂-impact in kilogram voor de ontworpen betonvloer op palen. Wanneer de CO₂-impact lager moet zijn, kan worden gekozen voor meer staalvezels ten opzichte van de traditionele wapening. Indien de voorkeur heeft om geen staalvezels toe te passen is het ook mogelijk om de CO₂-impact te verlagen door de vloer dunner te maken of het paalraster te vergroten.

Dit onderzoek maakt gebruik van zowel kwalitatieve als kwantitatieve onderzoeksmethoden. Denk hierbij aan literatuurstudies, interviews, deskresearch en case studies. De literatuurstudie was het grootste gedeelte van het onderzoek, aangezien onderzocht moest worden welke berekeningen benodigd zijn voor het berekenen van een betonvloer op palen. Interviews zijn gehouden met experts van verschillende producten van een betonvloer op palen en twee medewerkers van Ten Brinke vestiging Almelo. Aan dit laatste kan ook de deskresearch worden gekoppeld. Kennis is ook vergaard via de medewerkers van Ten Brinke. Tot slot is een case study gedaan op basis van de ontwikkelde tool en de hoofdconstructeur, om mogelijke verschillen te achterhalen. Uit de case study is gebleken dat er wel degelijk verschillen zijn. Hierdoor is nu bekend hoeveel winst geboekt kan worden met de hulp van de tool.

Na het onderzoek is te concluderen, dat het ontwerpproces van een betonvloer op palen is versneld. Ten Brinke kan nu door middel van een ontwikkelde tool een betonvloer op palen binnen minder tijd ontwerpen die voldoet aan de vigerende regelgeving. Tevens zijn door middel van de tool direct de financiële en duurzaamheidsaspecten inzichtelijk. Door deze twee extra aspecten hebben meerdere partijen profijt van de tool. Door het financiële aspect heeft ook de calculator sneller informatie en door het duurzaamheidsaspect kan beter ontworpen worden op lagere CO₂-impact, wat uiteindelijk voor de gehele maatschappij beter is.

Summary

The Ten Brinke Group is a contractor who is capable of being involved in every aspect of the construction of buildings. In addition to that, they are also capable of developing their own projects. So, they can manage the entire building process from start to finish.

This research focuses on advancing the pace and optimizing the design process of a concrete floor on piles. According to the lead engineer of Ten Brinke at the branch in Almelo, The Netherlands, the design process took too long. Furthermore, he was not always able to consistently achieve the optimal design quickly and with certainty. For these reasons he posed the question to us to optimize the design process. Besides the technical aspect, he was also interested in the sustainability of the subject, as there is a possibility that regulations regarding CO₂-emissions may change in the future. Alongside this, he would also like to consider the financial aspect. The financial aspect in this paper is defined as the cost of the elements.

The goal of this research was finding a way to assist Ten Brinke in designing an optimal concrete floor on piles which meets set regulations, while also considering the financial and the sustainable aspects of the subject. With the goal clear, the questions to achieve the goal could be formulated. These were based on the principle of firstly determining how it should be, then secondly understanding the current situation at Ten Brinke and finally researching how it could be implemented.

Both quantitative and qualitative research methods were used in this research. Examples of qualitative research methods include literature studies, interviews, desk research and case studies. The literature study was the main focus of the research. Most information regarding the concrete floor on piles came from formulas or calculations which were gathered by reading various reports, textbooks and regulations. However, significant information was also obtained by interviewing different experts in their respective fields. Quantitative research methods were used to gather data which could be implemented in the design process. These data came from test results of the different subjects.

In conclusion, thanks to the developed tool, the design process of the concrete floor on piles is now much faster. Ten Brinke is now capable of designing a floor that meets regulations in a shorter amount of time. At the same time, the tool provides immediate insights into the financial and the sustainable aspects of the design, which also helps different parties. The financial aspect enables the project calculator to provide an answer faster regarding the total price. Due to the sustainable aspect, the design process could also be focused on reducing the CO₂-impact, which is ultimately beneficial to the entire population.

Abstract

‘Parametrisch ontwerpen van een betonvloer op palen’ is de titel van het onderzoek. Dit onderzoek gaat in op de mogelijkheden van het creëren van het meest optimale betonvloer op palen ontwerp door middel van een parametrische tool. De term ‘meest optimaal’ betekent dat op financieel, duurzaam en technisch gebied naar de beste oplossing gestreefd wordt. In dit onderzoeksrapport komen verschillende woorden vaker terug. Deze kernwoorden zijn de belangrijkste woorden in het rapport.

Kernwoorden:

- Beton;
- Wapeningsstaal;
- Staalvezels;
- Parametrisch;
- Kostprijs;
- CO₂-impact

Leeswijzer

Hoofdstuk 1. Inleiding

In de inleiding is de context van het onderzoek omschreven.

Hoofdstuk 2. Aanleiding

Hoofdstuk 2 omschrijft de aanleiding voor het doen van dit onderzoek.

Hoofdstuk 3. Probleemstelling, doelstelling en onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk zijn de probleemstelling, de doelstelling en de onderzoeksvragen opgesteld.

Hoofdstuk 4. Onderzoeksmethoden

De onderzoeksmethoden zijn in hoofdstuk 4 per deelvraag omschreven.

Hoofdstuk 5. Afbakening

Bij de afbakening is beschreven en onderbouwd welke aspecten van het onderzoek zijn opgenomen bij het formuleren van de conclusies en het advies, en welke aspecten buiten beschouwing zijn gelaten.

Hoofdstuk 6. Beantwoorden van de onderzoeksvragen

In dit hoofdstuk zijn de deelvragen beantwoord aan de hand van de uitgevoerde onderzoeken.

Hoofdstuk 7. Conclusies & aanbevelingen

In dit hoofdstuk is de hoofdvraag beantwoord aan de hand van de antwoorden op de deelvragen en is een advies voor het ontwerpproces tot de meest optimale betonvloer op palen omschreven.

Hoofdstuk 8. Referenties

In de referenties staan de bronnen die gedurende het onderzoek zijn toegepast vermeld.

Hoofdstuk 9. Bijlagen

In de bijlagen zijn verschillende stukken toegevoegd die zijn toegepast tijdens het onderzoek om tot de conclusie en aanbevelingen te komen.

Begrippenlijst

Begrip	Definitie
Afwapenen	Toepassen van wapening om interne krachswerkingen te weerstaan.
Belastingscombinaties	Combinaties van permanente- en veranderlijke belastingen om tot de totale optredende belasting te komen.
Belastingduur	Tijdsduur hoelang een belasting optreedt.
CO ₂ -impact	De hoeveelheid kilogram CO ₂ die uitgestoten wordt.
Contranet	Een contranet is een wapeningsnet in twee richtingen dat in één laag ligt.
Ductiliteit	Vervormbaarheid; de mate waarin een materiaal plastische vervorming toelaat (Nederlandse Encyclopedie, 2024)
Dwarsstaven	Wapeningsstaven toegepast loodrecht op de lange richting van het gehele element.
Dwarswapening	Wapening toegepast loodrecht op de lange richting van het gehele element.
Geopolymeerbeton	Beton waarin geopolymeren zijn toegepast; ketens aan grondstoffen om het cement te vervangen.
Hybridebeton	Beton waarin naast traditionele wapening ook staalvezels zijn toegepast.
Kostprijs	De prijs die voor een product en/of diensten betaald moet worden.
Kinematisch	Een onderdeel van de mechanica rondom bewegende delen.
Langsstaven	Wapeningsstaven toegepast in de lange richting van het gehele element.
Langswapening	Wapening toegepast in de lange richting van het gehele element.
Milieuklasse	Milieuklasse is een omschrijving op het gebied van duurzaamheid en weerstand van beton tegen invloeden.
Override	Eigen waardes invullen waarmee het programma verder rekt in plaats van de door het programma zelf berekende waarden.
Parametrisch	Op basis van variabelen, gegevens of relaties.
Staalvezelversterktbeton	Beton waarin staalvezels zijn toegepast.

Griekse letters	
α	Griekse alfa
β	Griekse beta
γ	Griekse gamma
δ	Griekse delta
ε	Griekse epsilon
θ	Griekse theta
κ	Griekse kappa
λ	Griekse lamda
ν	Griekse nu
ξ	Griekse xi
ρ	Griekse Rho
σ	Griekse sigma
τ	Griekse tau
χ	Griekse chi
ψ	Griekse psi

Symbolenlijst

Symbol	Definitie
A	Oppervlakte van de doorsnede
A_c	Oppervlakte van de betondoorsnede
$A_{ct,eff}$	Effectieve oppervlakte van het beton onder trek
A_{ct}	Oppervlakte van het beton binnen de trekzone
A_k	Oppervlakte van het gebied omsloten door de hartlijnen van de element wanden
A_s	Oppervlakte van de doorsnede van de wapening
$A_{s,max}$	Maximumoppervlakte van de doorsnede van de wapening
$A_{s,min}$	Minimumoppervlakte van de doorsnede van de wapening
$A_{s,prov}$	Toegepaste oppervlakte van de doorsnede van de wapening
$A_{s,req}$	Benodigde oppervlakte van de doorsnede van de wapening
A_{sl}	Oppervlakte van de doorsnede van de langswapening
A_{sw}	Oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening
$A_{sw,req}$	Benodigde oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening
b	Breedte van de beschouwde betondoorsnede
b_1	Paalafmeting in de beschouwde buigingsrichting
b_2	Paalafmeting loodrecht op de beschouwde buigingsrichting
BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand
c	Betondekking
c	Diameter van een ronde funderingspaal
$c_1 ; c_2$	Afmeting van een rechthoekige funderingspaal
c_{dev}	Uitvoeringstolerantie betondekking
$c_{dur,add}$	Vermindering dekking wanneer aanvullende bescherming wordt gebruikt
$c_{dur,st}$	Vermindering dekking wanneer gebruik gemaakt wordt van roestvaststaal
$c_{dur,y}$	Veiligheidsmarge betondekking
c_{min}	Minimale betondekking
$c_{min,b}$	Minimale betondekking op basis van aanhechtingseisen
$c_{min,dur}$	Minimale betondekking op basis van milieuomstandigheden
c_{nom}	Nominale betondekking
$C_{Rd,c}$	Factor
$c_{toegepast}$	Toegepaste betondekking
d	Effectieve hoogte van de beschouwde doorsnede
d_{eff}	Effectieve hoogte van een plaat, gelijk aan de gemiddelde effectieve hoogte in twee orthogonale richtingen
d_y	Effectieve hoogte van een plaat in y-richting
d_z	Effectieve hoogte van een plaat in z-richting
E	Elasticiteitsmodulus
E_{cm}	Gemiddelde elasticiteitsmodulus van beton
EI	Buigstijfheid van de beschouwde doorsnede
E_s	Elasticiteitsmodulus van wapeningsstaal
ϵ	Optredende rek
ϵ_{cm}	Gemiddelde rek in het beton
ϵ_{cr}	Scheurrek

Symbol	Definitie
ϵ_{cu}	Grenswaarde van de betonstuik
ϵ_{fdc}	Overgangsrek
ϵ_{ft}	Rek van staalvezels
$\epsilon_{ft,max}$	Rek in de uiterste staalvezels
ϵ_{sm}	Gemiddelde rek in het wapeningsstaal
F_0	Karakteristieke waarde van de veranderlijke gelijkmatig verdeelde belasting bij de basisreferentieperiode
$f_{cc,k,0}$	Karakteristieke kubusdruksterkte van beton op 28 dagen
f_{cd}	Rekenwaarde van druksterkte van beton
f_{ck}	Karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen
f_{ct}	Treksterkte van beton
$f_{ct,eff}$	Gemiddelde treksterkte van beton op moment van scheuren
$f_{ctfl,m,0}$	Gemiddelde korteduur-buigtreksterkte van beton
f_{ctm}	Gemiddelde axiale treksterkte van beton
$f_{eqk,i}$	Karakteristieke ondergrens equivalente buigtreksterkte staalvezelversterktbeton
$f_{eqm,1}$	Testwaarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 0,5mm rek
$f_{eqm,4}$	Testwaarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 3,5mm rek
f_{fcd}	Rekenwaarde van de druksterkte van staalvezelbeton
$f_{fck,cube}$	Karakteristieke kubusdruksterkte staalvezelversterktbeton
$f_{fck,cyl}$	Karakteristieke cilinderdruksterkte staalvezelversterktbeton
f_{fcrep}	Representatieve betondruksterkte staalvezelversterktbeton
$f_{ftd,2}$	Rekenwaarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 0,5mm rek
$f_{ftd,3}$	Rekenwaarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 3,5mm rek
f_{ftm}	Gemiddelde korteduur-treksterkte staalvezelversterktbeton
$f_{ftrep,1}$	Gemiddelde korteduur-treksterkte staalvezelversterktbeton
$f_{ftrep,2}$	Representatieve waarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 0,5mm rek
$f_{ftrep,3}$	Representatieve waarde van de treksterkte van staalvezelbeton bij 3,5mm rek
$f_{ftrep,i}$	Representatieve waarde van de langeduur-treksterkte van staalvezelversterktbeton
F_h	Horizontale kracht
F_t	Aangepaste karakteristieke waarde van de veranderlijke gelijkmatig verdeelde belasting bij de referentieperiode die hoort bij de gekozen ontwerplevensduur
F_v	Verticale kracht
f_y	Karakteristieke waarde van de vloeigrens van betonstaal
$f_{y,ef}$	Effectieve waarde van de vloeigrens van de ponswapening
f_{yd}	Rekenwaarde van de vloeigrens van betonstaal
f_{yk}	Karakteristieke waarde van de vloeigrens van betonstaal
f_{ywd}	Rekenwaarde van de vloeigrens van de dwarskrachtwapening
f_{ywk}	Karakteristieke waarde van de vloeigrens van de dwarskrachtwapening
h	Hoogte van de beschouwde doorsnede
$h_{c,ef}$	Effectieve hoogte van de trekzone
h_{cr}	Hoogte van de trekzone
h_x	Hoogte van de betondrukzone
h_{xu}	Hoogte van de betondrukzone in de uiterste grenstoestand
h^*	Hoogte (h) met een maximum van 1,0m
I	Traagheidsmoment van de beschouwde doorsnede

Symbol	Definitie
k_c	Coëfficiënt
k_i	Factor; coëfficiënt
KFI	Factor
l	Lengte; overspanning
l_{eff}	Effectieve lengte
l_{rep}	Representatieve waarde van de lengte
l_t	Overdrachtslengte
l_{vr}	Overdrachtslengte
l_x	Lengte van de korte zijde van het vloerveld
l_y	Lengte van de lange zijde van het vloerveld
l_1	Overspanning in de richting van de beschouwde momenten
M	Buigend moment
M'	Buigend steunpuntsmoment
M_{cr}	Scheurmoment
M_{Ed}	Rekenwaarde van het buigend moment
M_{freq}	Frequente waarde van het buigend moment
M_{krimp}	Buigend moment door krimpbelasting
M_{Rd}	Momentcapaciteit van de doorsnede
M_{rep}	Representatieve waarde van het buigend moment
M_{wmax}	Maximale buigend moment door scheurwijdte-eis
m_{xx}	Buigend moment per lengte in x-richting
m_{xy}	Buigend moment per lengte in y-richting
m_{yy}	Wringend moment
m_{xx}^*	Wapeningsmoment per lengte in x-richting
m_{yy}^*	Wapeningsmoment per lengte in y-richting
N_{krimp}	Normaalkracht door krimpbelasting
$\emptyset$	Staafdiameter
$\emptyset_s$	Aangepaste maximumstaafdiameter
$\emptyset_s^*$	Maximumstaafdiameter
p	Vlaklast van de optredende belasting
ρ	Wapeningsverhouding
ρ_1	Wapeningsverhouding van een plaat, wapeningsverhouding in twee orthogonale richtingen
p_{Ed}	Rekenwaarde van de belasting (vlaklast)
p_{freq}	Frequente waarde van de belasting (vlaklast)
$p_{G;k}$	Karakteristieke waarde van een permanente belasting (vlaklast)
ρ_{ly}	Wapeningsverhouding van de langswapening in de y-richting
ρ_{lz}	Wapeningsverhouding van de langswapening in de z-richting
$\rho_{p,eff}$	Effectieve wapeningsverhouding
$p_{Q;k}$	Karakteristieke waarde van een veranderlijke belasting (vlaklast)
q	Lijnlast van de optredende belasting
q_d	Rekenwaarde van de lijnlast van de optredende belasting
q_{Ed}	Rekenwaarde van de belasting (lijnlast)
q_{freq}	Frequente waarde van de belasting (lijnlast)
$q_{G;k}$	Karakteristieke waarde van een permanente belasting (lijnlast)
q_{kar}	Karakteristieke waarde van de belasting (lijnlast)

Symbol	Definitie
$q_{Q;k}$	Karakteristieke waarde van een veranderlijke belasting (lijnlast)
q_{quasi}	Quasi-blijvende waarde van de belasting (lijnlast)
r_1	Factor
s	Breedte van de wapeningsbaan
s	Hart-op-hartafstand van de dwarskrachtwapening
s_r	Radiale afstand tussen perimeters van dwarskrachtwapening
$s_{r,max}$	Maximale scheurafstand
s_t	Tangentiële afstand tussen dwarskrachtwapening over een perimeter van dwarskrachtwapening
t	Referentieperiode die hoort bij de gekozen ontwerplevensduur
t_0	Basisreferentieperiode
T_{Ed}	Rekenwaarde van het optredende wringend moment
t_{ef}	Effectieve wanddikte
$T_{Rd,c}$	Rekenwaarde voor het scheurmoment door wringing
$T_{Rd,max}$	Maximale wringweerstand van de doorsnede
UGT	Uiterste grenstoestand
u_i	Lengte van de beschouwde controle omtrek
u_k	Omtrek van gebied A_k
u_{out}	Toetsingsperimeter waarvoor geen ponswapening meer vereist is
v	Sterktereductiefactor voor beton met dwarskrachtscheuren
v_1	Sterktereductiefactor voor beton met dwarskrachtscheuren
v_{ccd}	Rekenwaarde van de dwarskrachtcomponent van de kracht in het drukgebied
V_{Ed}	Rekenwaarde van de optredende dwarskracht
v_{Ed}	Rekenwaarde van de schuifspanning
$v_{f,d}$	Dwarskrachtweerstand van de doorsnede door staalvezels
V_{Rd}	Dwarskrachtweerstand van de doorsnede
$V_{Rd,c}$	Dwarskrachtweerstand van de betonddoorsnede zonder dwarskrachtwapening
$V_{Rd,max}$	Maximale dwarskrachtweerstand van de doorsnede
$V_{Rd,s}$	Dwarskrachtweerstand van de doorsnede door dwarskrachtwapening
$V_{Rd,s,prov}$	Toegepaste dwarskrachtweerstand van de doorsnede door dwarskrachtwapening
$V_{Rd,s,req}$	Benodigde dwarskrachtweerstand van de doorsnede door dwarskrachtwapening
v_{td}	Rekenwaarde van de dwarskrachtcomponent van de kracht in de trekwapening
W	Weerstandsmoment
w	Berekende doorbuiging
w_k	Berekende scheurwijdte
w_{max}	Grenswaarde voor de berekende scheurwijdte w_k ; maximaal optredende doorbuiging
x	Hoogte van de betondrukzone
x_{out}	Afstand van zijkantpaal tot perimeter waar geen ponswapening meer vereist is
x_u	Hoogte van de betondrukzone in de uiterste grenstoestand
z	Hefboomsarm van de snedekrachten
α	Factor
α_{cw}	Factor
α_e	Verhouding
β	Factor
γ_c	Partiële factor voor beton

Symbol	Definitie
γ_{ft}	Partiële factor voor staalvezelversterktbeton op trek belast
δ	Herverdelingsverhouding
θ	Hoek
λ	Slankheid
ξ	Reductiefactor voor ongunstige, blijvende belasting
σ_c	Betonspanning
σ_{cp}	Gemiddelde betondrukspanning door de normaalkracht
$\sigma_{cr,b}$	Scheurspanning
σ_s	Staalspanning
$\sigma_{s,cr}$	Staalspanning ten tijde van het scheuren van beton
$\sigma_{s,freq}$	Optredende staalspanning
σ_{sr}	Staalspanning ten tijde van het scheuren van beton
τ_t	Schuifspanning door wringing
Ψ	Factoren die de representatieve waarde van veranderlijke belastingen definiëren; Ψ_0 voor combinatiewaarden; Ψ_1 voor frequente waarden; Ψ_2 voor quasi-blijvende waarden

Overige symbolen	
$>$	Groter dan
$<$	Kleiner dan
$\geq$	Groter of gelijk
$\leq$	Kleiner of gelijk
Σ	Som

Hoofdstuk 1: Inleiding

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Ten Brinke Advies & Engineering, onderdeel van Ten Brinke Nederland. Ten Brinke is in 1902 opgericht als een klein uitvoerend bouwbedrijf in Varsseveld. “In 120 jaar tijd is Ten Brinke gegroeid tot een internationaal opererende organisatie. Ondertussen, met al de vierde generatie in het bedrijf, werken er circa 1300 werknemers in dit familiebedrijf.” (Ten Brinke, z.d.). Ten Brinke is uitgegroeid tot één van de grootste aannemers in ons land. Zij werken niet alleen voor opdrachtgevers, maar hebben ook veel projecten in eigen ontwikkeling.

Ten Brinke heeft vestigingen in verschillende landen, te weten: Griekenland, Spanje, Portugal, Duitsland en Nederland. Dit onderzoek is uitgevoerd voor Ten Brinke Nederland.

Vanuit Ten Brinke is de vraag gesteld of een hulpmiddel ontwikkeld kon worden, die een parametrisch ontwerp maakt voor een betonvloer op palen. Naast dat dit voor Ten Brinke een relevante vraag is, is het voor de gehele maatschappij een interessante ontwikkeling. Door een technisch, financieel en duurzaam optimale betonvloer op palen te ontwerpen worden kosten en CO₂-uitstoot bespaard. Deze besparing komt voort uit het feit dat bij het meest optimale ontwerp veel minder materiaal gebruikt wordt en tegelijkertijd dus minder CO₂-impact levert.

Hoofdstuk 2: Aanleiding

De aanleiding tot het onderzoek is een vraag vanuit Ten Brinke. Vanuit het bedrijf kwam de vraag, of door middel van een ontwerptool op een snellere manier de meest optimale betonvloer op palen parametrisch ontworpen kan worden.

De specifieke opdracht omvat het realiseren van een ontwerptool, die rekening houdt met technische -, financiële - en duurzaamheidsaspecten. Het technische aspect betreft het ontwerpen van de betonvloer op palen conform geldende regelgeving. Terwijl het financiële aspect gericht is op het inzichtelijk maken van de kosten en het duurzaamheidsaspect zich richt op het kwantificeren van de CO₂-impact.

Een onderdeel van de wens van Ten Brinke is, dat de ontwerptool twee verschillende resultaten van een vlakke plaatvloer op palen genereert die voldoet aan de vigerende regelgeving. De twee resultaten zijn: de meest optimale betonvloer op palen op basis van het financiële aspect en op basis van het duurzaamheidsaspect.

Het behalen van deze resultaten levert Ten Brinke aanzienlijke voordelen op, waaronder kortere ontwerptijd, kostenbesparingen en een lagere CO₂-uitstoot. Deze laatste twee voordelen zijn het gevolg van een efficiënter gebruik van materialen dankzij het optimale ontwerp.

Gezien de groeiende aandacht voor duurzaamheid heeft dit aspect een hoge prioriteit in het onderzoek. Omdat volgens sommigen de kans bestaat dat de eisen met betrekking tot CO₂-uitstoot worden aangescherpt, is een lagere CO₂-uitstoot niet alleen gunstig voor het milieu, maar ook essentieel om aan regelgeving te blijven voldoen.

Ten Brinke streeft naar het beste resultaat tegen de laagste prijs, waardoor het optimaliseren van het ontwerp cruciaal is. De ontwikkeling van de ontwerptool biedt het bedrijf de mogelijkheid om dit optimale ontwerp te bereiken en daarmee de wens voor het beste ontwerp te realiseren.

Hoofdstuk 3: Probleemstelling, doelstelling en onderzoeksvragen

3.1 Probleemstelling

De probleemstelling van dit onderzoek ligt in het feit, dat de constructeur tijdens het maken van ontwerpberekeningen van een betonvloer op palen de waarde van een groot aantal parameters moet schatten die van invloed zijn op de berekening. Voorbeelden van deze parameters zijn: vloerdikte, paalraster, paaltype, paalafmeting, paallengte, etcetera. Door al deze verschillende parameters worden, aan het begin van het ontwerpproces, aannames gedaan van de waarde van diverse parameters die later in het proces dienen te worden gecontroleerd. Vaak moet na deze controles het ontwerpproces opnieuw doorgelopen worden met de aangepaste waardes. Deze extra handeling kost veel tijd. Tevens resulteert het grote aantal aannames in de ontwerpberekeningen aan het eind van het ontwerpproces tot onzekerheid ten opzicht van het meest optimale ontwerp. Als gevolg hiervan bestaat de kans dat onnodig veel materialen gebruikt worden, wat inefficiëntie met zich meebrengt.

Ten Brinke heeft diverse projecten in eigen ontwikkeling, wat betekent dat zij profiteert van het realiseren van betonvloeren op palen tegen zo laag mogelijke kosten. Met het oog op het feit dat de mogelijkheid bestaat dat de eisen met betrekking tot CO₂-uitstoot worden aangescherpt en gezien de verwachting dat beton nog geruime tijd een belangrijke rol gaat spelen in de bouwsector, wordt elke vermindering van uitstoot beschouwd als aanzienlijke vooruitgang.

Door de hedendaagse druk op de economie neemt de rol van financiën steeds meer toe bij het maken van keuzes, klanten willen het beste product tegen minimale kosten. Ten Brinke is actief betrokken bij zowel interne ontwikkelingsprojecten, als projecten voor externe opdrachtgevers. In situaties waarin concurrenten lagere prijzen bieden, wordt de opdracht doorgaans toegekend aan de partij met het scherpste aanbod. Het is daarom van cruciaal belang om het beste ontwerp te realiseren, waardoor Ten Brinke in staat is om de meest competitieve prijs te bieden.

3.2 Doelstelling

Uit de probleemstelling is gebleken dat bij het ontwerpen van betonvloeren op palen niet altijd het meest optimale ontwerp wordt verkregen. Volgens Ten Brinke wordt vaak te veel tijd besteed aan het ontwerpproces en zijn de resultaten van het ontwerp dat de verschillende elementen overgedimensioneerd zijn. Met overdimensionering is bedoeld dat de afmetingen van de constructie-elementen niet optimaal zijn ontworpen ten aanzien van onder andere het aantal palen, de dikte van de betonvloer en de hoeveelheid wapening. Het doel van dit onderzoek is daarom, het ontwikkelen van een ontwerptool waarmee Ten Brinke op een snellere manier de meest optimale betonvloer op palen kan ontwerpen op basis van de aspecten financiën, techniek en duurzaamheid.

Deze doelstelling is niet alleen interessant voor Ten Brinke, maar heeft ook een maatschappelijke relevantie. Door de betonvloer op palen te optimaliseren, kan een aanzienlijk voordeel worden behaald ten aanzien van techniek, financiën en duurzaamheid. Dit voordeel bestaat onder andere uit een vermindering in materiaalgebruik, wat op zijn beurt resulteert in een lagere CO₂-impact op het milieu. Om aan de doelstellingen van de overheid te voldoen, is de vermindering van CO₂-impact noodzakelijk en is dit onderzoek dus cruciaal.

3.3 Hoofdvraag

De volgende hoofdvraag is geformuleerd aan de hand van de opgestelde probleemstelling en het gewenste resultaat van dit onderzoek.

‘Hoe kan Ten Brinke een betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, parametrisch ontwerpen om te komen tot een financieel, technisch en duurzaam optimum met behulp van een ontwerptool, zodat het ontwerpproces wordt verbeterd en versneld?’

3.4 Deelvragen

Bij het formuleren van onderzoeksvragen is een logische chronologische volgorde gehanteerd. De eerste stap in het onderzoek is het onderzoeken van de berekeningsmethoden rondom een betonvloer op palen, gevolgd door het verzamelen van theoretische informatie. Vervolgens is vastgesteld wat de actuele situatie is, waarna ten slotte is onderzocht hoe de gestelde doelstelling behaald kan worden. Deze opbouw is terug te zien in de opgestelde onderzoeksvragen, die als doel hebben om te ondersteunen bij het beantwoorden van de hoofdvraag.

Onderzoeksvraag 1:

Hoe wordt een ontwerp gemaakt van een constructieve betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, waarbij de naleving van de vigerende regelgeving wordt gewaarborgd?

Onderzoeksvraag 2:

Hoe wordt het financiële aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?

Onderzoeksvraag 3:

Hoe wordt het duurzame aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?

Onderzoeksvraag 4:

Wat is het huidige ontwerpproces voor een betonvloer op palen bij Ten Brinke?

Onderzoeksvraag 5:

Hoe kan het ontwerpproces voor een constructieve betonvloer op palen worden gecombineerd met de duurzame en financiële aspecten, zodat het ontwerp van de betonvloer op palen geoptimaliseerd is op de technische, financiële en duurzame gebieden?

3.5 Framework model

Tabel 1 toont een framework model, dat een overzicht geeft van diverse parameters, die betrekking hebben op het berekenen van een betonvloer op palen. Deze parameters zijn gecategoriseerd als afhankelijke -, onafhankelijke - en bemiddelde parameters.

Onafhankelijke parameters zijn aan het begin van het project vastgesteld en blijven onveranderd gedurende het proces. Bovendien hebben de berekeningsresultaten geen invloed op deze parameters.

Afhankelijke parameters zijn geschatte variabelen die essentieel zijn voor het berekeningsresultaat. Deze parameters zijn echter ook afhankelijk van de resulterende uitkomsten, waardoor ze als zodanig worden beschouwd.

Bemiddelde parameters zijn afhankelijk van meerdere variabelen. Vaak zijn deze variabelen zo complex of zijn de alternatieven geen gebruikelijke oplossing en daarom is in dit onderzoek besloten om voor deze parameters een vaste waarde te nemen.

Onderwerp	Soorten parameter		
	Afhankelijke	Onafhankelijke	Bemiddelde
Gevolgklasse		X	
Belastingcategorie		X	
Optredende belasting		X	
Milieuklasse		X	
Dekking		X	
Betonsterkteklasse	X		
Wapeningsstaalkwaliteit			X
Hoeveelheid wapening	X		
Wapeningstaal diameter	X		
Wapeningstaal h.o.h.	X		
Dikte vloer	X		
Effectieve hoogte	X		
Type paal	X		
Paal afmetingen	X		
Paal lengte	X		
Paal capaciteit			X
Paal raster	X		
Financieel			X
Duurzaamheid			X

Tabel 1; Framework model.

Hoofdstuk 4: Onderzoeksmethoden

Tijdens de uitvoering van dit onderzoek zijn diverse deelvragen noodzakelijk om het praktijkprobleem op te lossen. De deelvragen zijn beantwoord door middel van kwalitatief en kwantitatief onderzoek, waarbij de toegepaste onderzoeksmethoden per deelvraag variëren. Hieronder is per deelvraag de toegepaste onderzoeksmethode omschreven. Verder is uitgelegd hoe het onderzoek specifiek uitgevoerd is. Dit type onderzoek betreft een ontwerpende benadering, waarbij het eindresultaat een oplossing biedt voor een praktisch probleem. Het feit dat de resulterende uitkomst een oplossing vormt, benadrukt nog verder dat het om een ontwerpend onderzoek gaat.

Deelvraag 1: Hoe wordt een ontwerp gemaakt van een constructieve betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, waarbij de naleving van de vigerende regelgeving wordt gewaarborgd?

- Deskresearch & Literatuurstudie

Het antwoord op deze vraag is verkregen door middel van deskresearch en literatuurstudie. Binnen Ten Brinke is een deel van de benodigde informatie om een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer te berekenen aanwezig. Het gebruikmaken van kennis, waar een organisatie zelf al over beschikt komt overeen met deskresearch. (Krul, 2021). Verder is ook gebruikgemaakt van normen, CUR-aanbevelingen en studieboeken. Dit zijn hoofdzakelijk de 'Eurocode 2 (NEN-1992-1-1)' (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020), 'CUR-aanbeveling 111' (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019) en de boeken 'Constructieel gewapend beton' (Braam & Langendijk, 2011), 'Ontwerpen in gewapend beton' (Braam, 2012), 'Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvervormingen' (Van Breugel, Van der Veen, Walraven, & Braam, 1998) en 'Ontwerpen en dimensioneren van vloestofkerende constructies' (Braam, Van Breugel, Niemantsverdriet, Van der Veen, & Walraven, 2001).

Deze manier van onderzoeken valt onder de onderzoeksmethode literatuuronderzoek (Verhoeven, 2018). De deelvraag is dus beantwoord middels een kwalitatieve onderzoeksmethode. Door het toepassen van verschillende bronnen bestaat de mogelijkheid dat er sprake kan zijn van triangulatie. Doordat verschillende bronnen dezelfde informatie geven, is het onderzoek betrouwbaarder en de kwaliteit hoger. Triangulatie verhoogt de validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek (Verhoeven, 2018). Aanvullend is de betrouwbaarheid, en zo de algemene kwaliteit, van het afstudeerproject gewaarborgd door het vierogenprincipe (Verhoeven, 2018). Doordat een deskundige op het vakgebied, de begeleider vanuit Ten Brinke, vaak heeft meegekeken naar de progressie en inhoud van het onderzoek, is sprake van het vierogenprincipe.

Deelvraag 2: Hoe wordt het financiële aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd op het ontwerp?

- Interviews & Literatuurstudie

Deelvraag 2 is hoofdzakelijk beantwoord door middel van diverse interviews met experts, die betrokken zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen. De betrokken expert, waarmee de gesprekken gevoerd zijn, zijn de expert rondom: beton, wapeningsstaal en staalvezels.

De keuze voor beton, in plaats van de individuele materialen die in beton worden verwerkt, is ingegeven door het feit dat de expert een uitgebreider inzicht heeft in de praktijk rondom het eindproduct dan een toeleverancier van de ruwe grondstoffen.

Om het onderzoeksresultaat beter te laten aansluiten op de behoeften van het bedrijf is ook een gesprek gevoerd met de inkoper van Ten Brinke zelf. Het doel van dit gesprek is om nauwkeurige inkooprijzen te verkrijgen, waardoor het resultaat van het onderzoek nog beter afgestemd wordt op de praktijksituatie van het bedrijf.

Naast de interviews is ook een literatuurstudie verricht. Dit is gebeurd aan de hand van verschillende artikelen die online te vinden zijn rondom het financiële aspect van de verschillende materialen. Door het toepassen van deze verschillende onderzoeksmethoden is sprake van triangulatie.

Deelvraag 3: Hoe wordt het duurzame aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?

- Interviews & Literatuurstudie

Deelvraag 3 is net als deelvraag 2 hoofdzakelijk beantwoord door middel van diverse interviews. In dit geval zijn de gesprekken gehouden met experts rondom materialen die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen. De betrokken experts, waarmee de gesprekken gevoerd zijn, zijn expert rondom: beton, wapeningsstaal en staalvezels.

De keuze voor beton, in plaats van de individuele materialen die in beton worden verwerkt, is ingegeven doordat de expert een uitgebreider inzicht heeft in de praktijk rondom het eindproduct dan een toeleverancier van de ruwe grondstoffen.

Naast de interviews is ook een literatuurstudie verricht. Dit is gebeurd aan de hand van verschillende artikelen die online te vinden zijn rondom de duurzaamheid van de verschillende materialen. Door het toepassen van deze verschillende onderzoeksmethoden is sprake van triangulatie.

Deelvraag 4: Wat is het huidige ontwerpproces voor een betonvloer op palen bij Ten Brinke?

- Interview

Voor deze deelvraag is een interview gehouden met Henk Naafs, Hoofd Advies & Engineering bij Ten Brinke bij de vesting in Almelo. Door dit interview is duidelijk geworden hoe Ten Brinke op dit moment een betonvloer op palen ontwerpt en berekent.

Deelvraag 5: Hoe kan het ontwerpproces voor een constructieve betonvloer op palen worden gecombineerd met de duurzame en financiële aspecten, zodat het ontwerp van de betonvloer op palen geoptimaliseerd is op de technische, financiële en duurzame gebieden?

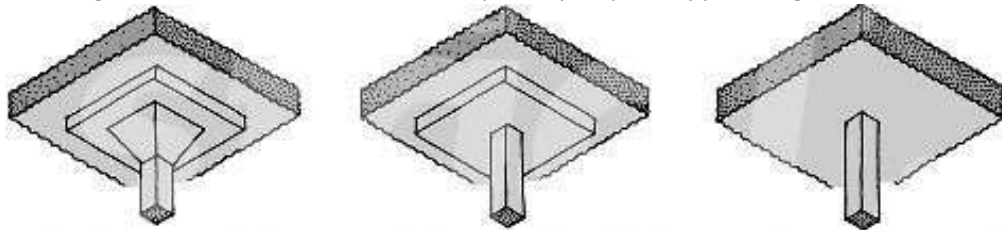
- Deskresearch & case study

Deze deelvraag is beantwoord door middel van een deskresearch. Onderzoek is gedaan naar mogelijke manieren waarop alle aspecten met elkaar gecombineerd kunnen worden. Dit is gedaan door onderzoek naar verschillende bronnen op het internet, waarin omschreven staat hoe de aspecten met elkaar gecombineerd kunnen worden. Ook is een case study gedaan, waarbij onderzocht is, of de hoofdconstructeur bij het ontwerpen van een betonvloer op palen op andere waardes komt dan de ontwerptool.

Hoofdstuk 5: Afbakeningen

De afbakeningen rondom dit afstudeeronderzoek zijn:

- De beschouwde situatie; Dit onderzoek vindt plaats rondom een betonvloer op palen.
- De functie van het beschouwde element; Het uitgangspunt is een betonvloer op palen bestemd voor bedrijfshallen.
- De vorm van het beschouwde onderdeel; Het uitgangspunt is een vierzijdige vloer met hoeken van 90°.
- De vorm van het beschouwde onderdeel; Het uitgangspunt is één vloerdikte. Geen verdikkingen in de vorm van een verbrede paalkop of paalkopplaat (figuur 1).



Figuur 1; Paal met verbrede paalkop en -kopplaat, Paal met paalkopplaat, Paal zonder verbrede paalkop of -kopplaat. (Bouwen met Staal, z.d.)

- De oplegging van de vloerranden; Het uitgangspunt is dat de vloerranden star zijn opgelegd.
- De oplegging van de vloer op de funderingspalen; De oplegging wordt beschouwd als een scharnierverbinding met centrische belasting.
- De toe te passen funderingspalen; De beschouwde funderingspalen rondom dit onderzoek zijn prefab voorgespannen betonpalen (heipalen) en hoge snelheidspalen (HSP).
- Het toe te passen paal draagvermogen; Het paal draagvermogen is als eerste uitgangspunt gelimiteerd aan het draagvermogen van het beton zelf (uitgangspunt is dat de paal in een voldoende draagkrachtige laag geplaatst is). Het paal draagvermogen voor de hoge snelheidspalen is opgevraagd bij 'Vroom Funderingstechnieken' en voor prefab voorgespannen betonpalen is het opgevraagd bij 'IJB-groep'. De tabellen met de paal draagvermogens zijn aan de bijlagen van dit rapport toegevoegd. (Zie in de bijlagen figuur 30 & figuur 31). Het geotechnische draagvermogen volgens het funderingsadvies van een geotechnicus kan daarentegen wel handmatig ingevoerd worden om tot een exacter advies te komen.
- De toe te passen betonsterkteklassen; Het uitgangspunt zijn de betonsterkteklassen C20/25 en C30/37.
- De toe te passen staalvezels; Bij het onderzoek is uitgegaan van de Dramix_4D (figuur 3) en Dramix_5D (figuur 2) vezels van Bekaert. De staalvezels Dramix_3D (figuur 4) vallen buiten beschouwing aangezien deze niet geschikt zijn voor puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren (Bekaert, 2012).



Figuur 4; Dramix_3D vezels. (Bekaert, 2012)

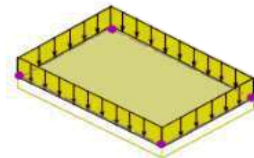


Figuur 3; Dramix_4D vezels. (Bekaert, 2012)



Figuur 2; Dramix_5D vezels. (Bekaert, 2012)

- De toe te passen vezeldosering; Vezeldosering in staalvezelversterktbeton is beschouwd vanaf een minimum van 25 kg/m^3 tot en met 45 kg/m^3 .
- De manier van het ontwerpen van het constructieve-element; Het ontwerpproces voor de uitwendige belasting gebeurt op basis van een krachtsberekening en ten gevolge van materiaalgedrag op basis van een vervormingsberekening.
- De beschouwde belastingen; Bij het berekenen van de optredende interne krachten is uitgegaan van vlaklasten (figuur 5). Lijn- en puntlasten zijn in dit onderzoek buiten beschouwing gebleven.
- De toe te passen berekeningstheorie; Bij het opstellen van het advies in de vorm van een ontwerptool is uitgegaan om een krachtsberekening op basis van de lineaire-elastische theorie te doen.
- De betondekking; De toegepaste betondekking is gelijk gesteld aan de gestelde eisen.
- De toe te passen spanning-rekrelaties van staalvezel versterkt beton (zie bijlage figuur 32 & figuur 33); De vereenvoudigde spanning-rekrelaties zijn voor zowel de UGT als voor de BGT toegepast.
- De manier van het wapenen van de constructieve-elementen; In dit onderzoek zijn drie manieren van wapenen meegenomen. Dit zijn: traditioneel (wapeningsstaal), hybride (wapeningsstaal en staalvezels) en alleen staalvezels.
- De manier van het wapenen ten gevolge van pons; Voor ponswapening worden ponshoedjes (figuur 6) toegepast.
- De manier van scheurvormingsbeheersing; Scheurvormingsbeheersing is gedaan aan de hand van scheurvormingsbeheersing ten gevolge van het exact berekenen van scheurwijdte.
- Beschouwde bezwijk mechanismes van de vloer; Bezwijking ten gevolge van dwarskracht en wringing is buiten beschouwing gelaten. Bezwijking ten gevolge van pons (ook een vorm van dwarskracht) en ten gevolge van het buigend moment zijn daarentegen wel meegenomen.
- Vervorming; De vervormingen worden in dit onderzoek getoetst op basis van de slankheidseisen.



Figuur 5; Vlaklast. (SCIA - engineer, 2022)



Figuur 6; Ponshoedje. (Cobouw, z.d.)

- Financiën; Het financiële aspect rondom het ontwerp van de betonvloer op palen is gebaseerd op de kernwaarden per eenheid.
- Duurzaamheid; Het duurzame aspect rondom het ontwerp van de betonvloer op palen is gebaseerd op de kerngetallen van de CO₂-impact per eenheid in combinatie met de hoeveelheid materiaalgebruik van de diverse materialen die benodigd zijn bij het realiseren van de betonvloer op palen.

Hoofdstuk 6: Beantwoorden onderzoeksvragen

Deelvraag 1: Hoe wordt een ontwerp gemaakt van een constructieve betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, waarbij de naleving van de vigerende regelgeving wordt gewaarborgd?

6.1.1 Algemeen

Om inzicht te krijgen in de stappen die gedaan moeten worden bij het ontwerpproces van een puntvormige ondersteunde vlakke plaatvloer is in deze deelvraag het ontwerpproces stap voor stap uitgelegd. Allereerst wordt de bepaling van de grootte van de belastingen waarmee gerekend dient te worden omschreven. Daarna komt het schematiseren van de constructie aan bod, waarna de krachtswerking bepaald kan worden. Tot slot worden de toetsingen van de verschillende situaties rondom het constructieve element uitgelegd.

6.1.2 Belastingen

Eén van de belangrijkste onderdelen van een constructie is de grootte van de optredende belasting. Een constructief element moet in staat zijn om de belasting op te kunnen nemen. Het bepalen van de belastingen waarmee ontworpen dient te worden, kan aan de hand van verschillende artikelen uit de Eurocodes. Onder deze paragraaf worden verschillende aspecten rondom het bepalen van de grootte van de belastingen nader uitgelegd.

Betrouwbaarheidsklasse

De eerste stap die gedaan moet worden is de betrouwbaarheidsklasse bepalen, ook wel bekend als gevolgklasse. Mogelijke gevolgklassen kunnen CC1, CC2 of CC3 zijn, onderscheid in de gevolgklasse zelf na gelaten. Met behulp van tabel 2 is het mogelijk de gevolgklasse die bij het pand hoort te bepalen.

Gevolgklasse ^a	Omschrijving
CC3	Grote gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens ^b , of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving
CC2	Middelmatige gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving
CC1 nader onnderverdeeld in:	
CC1b	Geringe gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens en kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving
CC1a	Nagenoeg uitgesloten verlies van mensenlevens en zeer kleine of verwaarloosbare economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving

^a Projectsamenstapende indeling mag worden gedaan op basis van een risicoanalyse, volgens 2.2 van NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019. Voorbeelden voor de toepassing van de gevolgklassen staan in tabel NB.24 – B1.

^b Bedoeld zijn situaties van bouwwerken, waarin zich tegelijkertijd veel mensen kunnen ophouden en waarbij bij bezwijken van een essentieel onderdeel ineens een groot aantal mensen kan worden getroffen.

Tabel 2; Definitie van gevolgklassen. (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019)

Aan elke gevolgklasse zijn ook factoren gekoppeld om extra veiligheid in rekening te brengen. Dit zijn 'KFI'-factoren (tabel 3). Deze factoren moeten naast de veranderlijke belasting ook met de permanente belasting vermenigvuldigd worden.

K_{FI} -factor voor belastingen	Betrouwbaarheidsklasse		
	RC1	RC2	RC3
K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Tabel 3; KFI-factoren. (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019)

Levensduurklasse

Daarnaast dient de levensduur van de constructie beschouwd te worden. De levensduurklasse van de constructie resulteert mogelijk in een verandering van de belasting waarmee gerekend moet worden bij het ontwerpen van constructieve elementen. Tabel 4 geeft de minimumwaarden voor de ontwerplevensduur (hogere waarden mogen gebruikt zijn) en de bijbehorende levensduurklassen. Verder kan met behulp van formule NB.1 van de karakteristieke belasting (50 jaar, klasse 3) de aangepaste waarde berekend worden.

$$F_t = F_0 * (1 + ((1-\Psi_0)/9) * \ln(t/t_0)) \quad (\text{NB.1})$$

Waarin:

- F_t staat voor de aangepaste karakteristieke waarde van de veranderlijke gelijkmatig verdeelde belasting bij de referentieperiode die hoort bij de gekozen ontwerplevensduur.
- F_0 staat voor de karakteristieke waarde van de veranderlijke gelijkmatig verdeelde belasting bij de basisreferentieperiode.
- Ψ_0 de Ψ_0 -factorwaarde uit tabel 7.
- t staat voor de referentieperiode die hoort bij de gekozen ontwerplevensduur.
- t_0 staat voor de basisreferentieperiode (meestal 50 jaar).

Ontwerplevensduur		Toepassing
klasse	jaren	
1	5	Constructies van werken, geen bouwwerk zijnde, voor eenmalig gebruik ^a Tijdelijke bouwwerken voor een gebruik van maximaal 5 jaar.^a Opmerking Hierbij kan worden gedacht aan een tijdelijke bouwwerken zoals een reclamebord bij een bouwactiviteit. Voor (bouw)werken in gevolgklasse CC1b, CC2 of CC3 moet een referentieperiode van minimaal 15 jaar voor de belastingen worden aangehouden
2	15	Constructies voor landbouw en tuinbouw en soortgelijke toepassingen, uitsluitend voor productiedoeleinden, waarbij het aantal personen dat in het gebouw aanwezig is, beperkt is Industriegebouwen met 1 of 2 bouwlagen Tijdelijke bouwwerken met de in deze klasse beschreven bestemmingen
3	50	Gebouwen en andere gewone constructies van bouwwerken, waaronder ook tijdelijke, niet bedoeld in de klassen 2 en 4
4	100	Monumentale gebouwen. De beslissing om een gebouw als monumentaal aan te merken is ter beoordeling van de opdrachtgever
		^a Constructies of delen van constructies, anders dan bedoeld voor circulair bouwen, die kunnen worden ontmanteld met de bedoeling om te worden hergebruikt, vallen niet in klasse 1 en 2.

Tabel 4; Ontwerplevensduur in relatie tot toepassing. (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019)

Uitwendige belastingen

Naast verschillende factoren waarmee de belasting vermenigvuldigd kan worden is de waarde van de belasting zelf ook van belang.

Verschillende soorten belastingen bestaan. Deze zijn op te verdelen in twee soorten belastinggroepen namelijk: permanente- en veranderlijke belasting. Permanente belasting is een verzamelnaam voor de belastingen die, zoals de naam al zegt, permanent op de constructie aanwezig zijn. Permanente belastingen kan worden onderverdeeld in eigen gewicht en rustende belasting. Eigen gewicht is het gewicht van de materialen die in de hoofdconstructie toegepast worden en een rustende belasting bestaat uit belastingen die altijd op de constructie aanwezig is, denk hier bij aan een afwerklaag.

Veranderlijke belastingen zijn daarentegen niet altijd aanwezig. Voorbeelden hiervan zijn sneeuw, wind, regen en opgelegde belastingen uit personen, meubels en/of voorraad. Op vlakke plaatvloeren, het onderwerp van dit onderzoek, komt meestal niet direct sneeuw, wind of regen. Vandaar dat deze niet verder worden uitgewerkt in dit rapport. Het grootste aandeel komt namelijk uit opgelegde belastingen. Minimale waarden voor deze gebruiksbelastingen zijn terug te vinden in tabel 5 en 6. Tabel 6 geeft gebruiksbelastingen op vloeren, balkons, trappen en bordessen van gebouwen weer en tabel 5 geeft gebruiksbelastingen op vloeren, balkons, trappen en bordessen van opslag en industrieel gebruik weer.

Klasse van belast oppervlak	q_k kN/m ²	Q_k^b kN
Klasse A (wonen en huishoudelijk gebruik)		
A-gemeenschappelijke vloeren, trappen en balkons	3,0	3
A-niet-gemeenschappelijke vloeren	1,75	3 ^c
A-niet-gemeenschappelijke trappen	2,0	3 ^c
A-niet-gemeenschappelijke balkons	2,5	3 ^c
Klasse B (kantoorruimten)		
B-kantoorruimten	2,5	3
B-omsloten afzonderlijke verkeersruimte	3	3
Klasse C (bijeenkomst ruimten)		
C-omsloten afzonderlijke verkeersruimte, niet horend bij C5	5	3
C1-tafels	4,0 ^a	3
C2-vaste zitplaatsen	4,0 ^{ac}	7 ^a
C3-zonder obstakels voor rondlopende mensen	5,0	7
C4-fysieke activiteiten	5,0	7
C5-grote mensenmassa's	5,0 ^d	7
Klasse D (winkelruimten)		
D-omsloten verkeersruimten	4,0	7
D1-kleinhandel	4,0	7
D2-warenhuizen	4,0	7
^a Voor ruimten met uitsluitend een onderwijsfunctie waar les wordt gegeven, volstaat een vloerbelasting q_k van 2,5 kN/m ² en Q_k van 3 kN. ^b Tenzij anders vermeld, zijn de afmetingen van de puntlast gelijk aan 0,1 m × 0,1 m. ^c Afmetingen puntlast gelijk aan 0,5 m × 0,5 m. ^d Bij tribunes moet bovendien rekening zijn gehouden met een gelijkmatig verdeelde opwaartse gebruiksbelasting gelijk aan 50 % van de neerwaarts gerichte gebruiksbelasting. Deze belasting brengt het dynamisch effect in rekening dat kan optreden als gevolg van de bewegende massa van mensen (opspringen). De neerwaartse en opwaartse gebruiksbelastingen moeten afzonderlijk als extreme veranderlijke belasting worden beschouwd. Tevens moet bij de neerwaartse gebruiksbelasting op tribunes gelijktijdig rekening zijn gehouden met een veranderlijke gelijkmatig verdeelde horizontale belasting die kan optreden als gevolg van de bewegende mensenmassa. Deze horizontale belasting bedraagt 10 % van de verticale belasting en moet wat betreft de richting zijn beschouwd als een vrije belasting. Door het in rekening brengen van de opwaartse en gelijkmatige verdeelde horizontale belasting als statische belasting wordt voorkomen dat voor tribunes dynamische berekeningen moeten worden gemaakt om het effect van een bewegende mensenmassa te bepalen op de sterkte van de tribune.		

Tabel 6; Gebruiksbelastingen op vloeren, balkons, trappen en bordessen van gebouwen. (NEN-EN 1991-1-1:2002+C11:2019+NB:2019 Volumieke gewichten, 2019)

Klasse van belast oppervlak	q_k kN/m ²	Q_k^b kN
E1-bibliotheken		
Omsloten verkeersruimten	3	3
Overig	2,5 ^a	7
E1-opslag voor winkels		
Omsloten verkeersruimten	4	4
Overig	5	7
E1-overige ruimten die gevoelig zijn voor opeenhoping van goederen		
Omsloten verkeersruimten	4	4
Overig	5	10
E2-licht industrieel gebruik ^d		
Omsloten verkeersruimten	4	4
Overig	1,75	3
E2-overig industrieel gebruik		
Omsloten verkeersruimten	4	4
Overig	3	10 ^c
^a Waarde toe te passen voor de ruimten tussen de stellingen. ^b Tenzij anders vermeld, zijn de afmetingen van de puntlast gelijk aan 0,1 m × 0,1 m. ^c Afhankelijk van het bedoelde gebruik. ^d Niet te verwarren met lichte industrieelfunctie.		

Tabel 5 Gebruiksbelastingen op vloeren, balkons, trappen en bordessen van opslag en industrieel gebruik. (NEN-EN 1991-1-1:2002+C11:2019+NB:2019 Volumieke gewichten, 2019)

De veranderlijke belastingen zijn onderverdeeld in verschillende categorieën. Deze verschillende categorieën zijn weer te zien in tabel 7. Aan de verschillende categorieën zijn factoren gekoppeld. Deze factoren staan bekend als psi-factoren (ψ). De waarden van deze factoren dienen met de veranderlijke belasting vermenigvuldigd te worden om tot de juiste waarden voor het ontwerpproces te komen. Psi-factoren houden rekening met de duur van de belasting op de constructie. Deze factoren zijn naast de categorieën ook terug te zien in tabel 7.

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie			
Categorie A: woon- en verblijfsruimtes	0,4	0,5	0,3
Categorie B: kantoorruimtes	0,5	0,5	0,3
Categorie C: bijeenkomruimtes	0,6/0,4 ^a	0,7	0,6
Categorie D: winkelruimtes	0,4	0,7	0,6
Categorie E: opslagruimtes	1,0	0,9	0,8
Categorie F: verkeersruimte, voertuiggewicht ≤ 25 kN	0,7	0,7	0,6
Categorie G: verkeersruimte ^b , $25 \text{ kN} < \text{voertuiggewicht} \leq 160 \text{ kN}$	0,7	0,5	0,3
Categorie H: daken	0	0	0
Industrieel gebruik waarbij de veranderlijke belasting:			
— niet langdurig aanwezig is	0,5	0,5	0,3
— langdurig aanwezig is	1,0	0,9	0,8
Sneeuwbelasting	0	0,2	0
Belasting door regenwater	0	0	0
Windbelasting	0	0,2	0
Temperatuur (geen brand)	0	0,5	0

^a De waarde 0,6 geldt voor delen van het gebouw die in geval van een calamiteit zwaar kunnen worden belast door een mensenmenigte (vluchtroutes, trappen enz.); de waarde 0,4 geldt in overige gevallen.

^b Met verkeersruimte wordt in dit geval een ruimte bedoeld waar voertuigen kunnen rijden, bijvoorbeeld parkeergarages

Tabel 7; ψ – factoren voor gebouwen. (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019)

Deze uitwendige belastingen dienen in de UGT en BGT getoetst te worden.

Belasting ten gevolge van materiaalgedrag

Naast de uitwendige belastingen bestaan ook belastingen vanuit materiaaleigenschappen. Een voorbeeld van deze materiaalgebonden belastingen, en waar bij dit project van wordt uitgegaan, is krimp. Indien de constructie in staat is om deze krimp in de vorm van verplaatsing te kunnen verwerken, zijn geen maatregelen nodig. Echter, in het geval van puntvorming ondersteunde vlakke plaatvloeren zorgen de ondersteuning ervoor dat de plaat niet vrij kan verplaatsen. Vandaar dat in deze situatie gesproken wordt over verhinderde krimp.

Er bestaan verschillende typen krimp. Enkele voorbeelden zijn: plastische krimp, verhardingskrimp (hydratatie/chemische krimp), autogene krimp, uitdrogingskrimp en thermische krimp.

De verhinderde krimp ontstaat door het uithardingsproces van beton. “De vloer wil door onder andere uitdrogingskrimp en thermische krimp korter worden.” (Van Lanen & Reijers, 2023).

In tegenstelling tot de uitwendige belastingen, moeten belastingen ten gevolge van materiaalgedrag alleen in de BGT getoetst worden. Effecten van verhinderde krimp hoeven in het algemeen niet in de UGT beschouwing worden genomen, omdat ze geen invloed hebben op het draagvermogen van de constructie.

Belastingscombinaties

Om van de aangenomen belastingen (karakteristieke waarden) naar waarden te gaan, waarmee ontworpen kan worden, moeten de belastingen met behulp van diverse belastingscombinaties vermenigvuldigd worden met verschillende factoren.

Voor het berekenen van de waarden voor het ontwerpen in de uiterste grenstoestand, dienen de rekenwaarden van de belastingen bepaald te worden. Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand zijn dit de frequente en quasi-blijvende belasting waarden. Deze waarden voor de bruikbaarheidsgrenstoestand zijn nodig voor de scheurwijdte- en vervormingscontrole. De belastingscombinaties die toegepast moeten worden, zijn als volgt:

Rekenwaarde:

Ongunstig

$$6.10a: q_{Ed} = 1,35 * KFI * q_{G;k} + 1,5 * KFI * \psi_0 * q_{Q;k}$$

$$6.10b: q_{Ed} = 1,35 * \xi * KFI * q_{G;k} + 1,5 * KFI * q_{Q;k}$$

waarin:

ξ staat voor een reductiefactor voor ongunstige, blijvende belastingen en moet gelijk zijn genomen aan 0,89.

Gunstig

$$6.10a: q_{Ed} = 0,9 * q_{G;k} + 1,5 * KFI * \psi_0 * q_{Q;k}$$

$$6.10b: q_{Ed} = 0,9 * q_{G;k} + 1,5 * KFI * q_{Q;k}$$

Karakteristieke

$$q_{kar} = 1,0 * q_{G;k} + 1,0 * q_{Q;k}$$

Frequente

$$q_{freq} = 1,0 * q_{G;k} + 1,0 * \psi_1 * q_{Q;k}$$

Quasi-blijvende

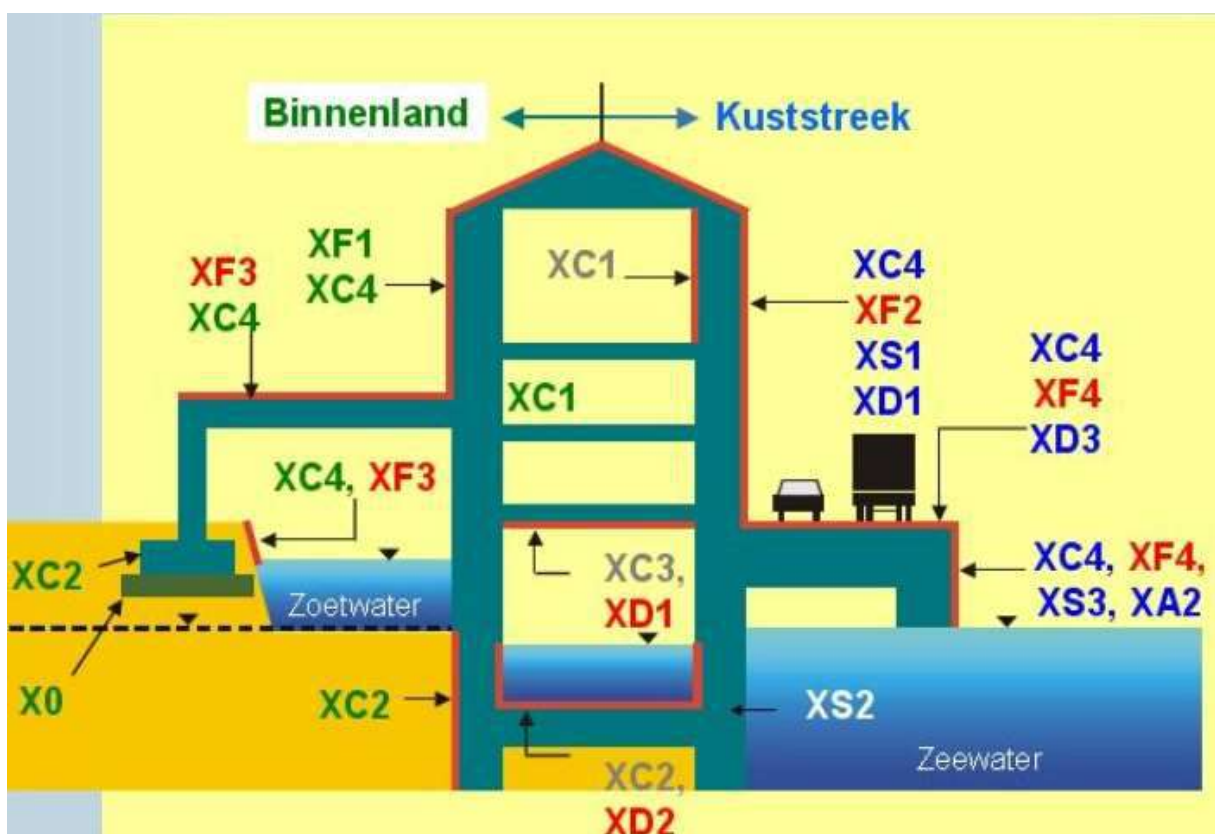
$$q_{quasi} = 1,0 * q_{G;k} + 1,0 * \psi_2 * q_{Q;k}$$

6.1.3 Schematisering

6.1.3.1 Geometrie

“Rekentechnisch wordt een betonvloer op palen gezien als een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer” (Braam & Langendijk, 2011). Bij het schematiseren van een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer zijn er verschillende aspecten waarmee rekening gehouden dient te worden. Eén cruciaal aspect hierbij is het ontwerp van de opdrachtgever. Zodra de opdrachtgever het voorlopige ontwerp van het project heeft, kan de constructeur pas beginnen met het schematiseren van de constructieve betonvloer. Het ontwerp is namelijk gebaseerd op de tekeningen die door de opdrachtgever zijn verstrekt, hieruit wordt de geometrie gehaald. Voorbeelden van noodzakelijke onderdelen uit de geometrie zijn: de lengte en breedte van de vloer, maar ook de hoeken van de vloer. Is de vloer een vierzijdige vloer met hoeken van 90° of zitten er nog bijzonderheden in het ontwerp.

Verder maakt de dikte van de vloer ook deel uit van de geometrie, maar deze dient bepaald te worden op basis van ontwerpberekeningen. Met de informatie uit het voorlopige ontwerp van de opdrachtgever valt niets definitiefs over de dikte van de vloer te zeggen. Echter, één onderwerp dat wel vaststaat, is de betondekking om de wapening. De minimale waarde van deze dekking wordt onder meer bepaald op basis van milieuklassen. De omgeving waarin de betonconstructie zich bevindt, beïnvloedt de milieuklasse van het beton. In figuur 7 en tabel 8 staat omschreven welke milieuklasse bij welke situatie hoort.



Figuur 7; Milieuklassen. (De Vree, 2023)

Klasseaanduiding	Beschrijving van het milieu	Informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen			
1 Geen risico op corrosie of aantasting			4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
X0	Voor beton zonder wapening of ingestorte metalen; alle milieus, behalve bij vorst/dooi, afslijting of chemische aantasting. Voor beton met wapening of ingesloten metalen: zeer droog	Beton binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid	XS1	Blootgesteld aan zout uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	Constructies bij of aan de kust
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie			XS2	Blijvend onder zeewater	Deelen van constructies in zee
XC1	Droog of blijvend nat	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water	XS3	Getijde-, spat- en stuifzones	Deelen van constructies in zee
XC2	Nat, zelden droog	Betonoppervlakken langdurig in contact met water Veel funderingen	5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen		
XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschut tegen regen	XF1	Niet volledig verzadigd met water, zonder doolzouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken in contact met water, maar die niet onder milieuklasse XC2 vallen	XF2	Niet volledig verzadigd met water, met doolzouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde doolzouten
3 Corrosie ingeleid door chloriden*			XF3	Verzadigd met water, zonder doolzouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XD1	Matige vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht	XF4	Verzadigd met water, met doolzouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan doolzouten Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeiide doolzouten en vorst Spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst
XD2	Nat, zelden droog	Zwembaden Beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater	6 Chemische aantasting		
XD3	Wisselend nat en droog	Bruggdelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen Vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen	XA1	Zwak agressief chemisch milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
			XA2	Matig agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater
			XA3	Sterk agressief milieu volgens tabel 2 van EN 206-1	Natuurlijke grond en grondwater

Tabel 8; Milieuklassen. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

Met behulp van de milieuklassen kan de minimumdekking op basis van milieuomstandigheden ($c_{min,dur}$) worden bepaald. Hiervoor moet eerst de constructieklasse worden vastgesteld. Tabel 9 biedt de mogelijkheid om de correcte constructieklasse te achterhalen.

Criterium	Constructieklasse						
	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1	XD2 / XS1	XD3 / XS2 / XS3
Ontwerplevensduur 100 jaar	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen	vermeerdering met 2 klassen
Ontwerplevensduur 75 jaar	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse	vermeerdering met 1 klasse
Sterkteklasse ^{1), 2)}	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C35/45 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C40/50 vermindering met 1 klasse	≥ C45/55 vermindering met 1 klasse
Element met plaatgeometrie (plaats van de wapening niet beïnvloed door het bouwproces)	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse
Specifieke kwaliteitsbeheersing van de betonproductie gewaarborgd	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse	vermindering met 1 klasse

Tabel 9; Constructieve classificatie. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

Door middel van deze constructieklasse kan de minimale betondekking op basis van duurzaamheid bepaald worden met behulp van tabel 10.

Omgevingseisen voor $c_{min,dur}$ mm							
Constructieklasse	Milieuklasse volgens tabel 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	25
S2	10	10	15	20	25	30	30
S3	10	10	20	25	30	35	35
S4	10	15	25	30	35	40	40
S5	15	20	30	35	40	45	45
S6	20	25	35	40	45	50	50

Tabel 10; Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{min,dur}$, met betrekking tot duurzaamheid voor betonstaal. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

De minimale betondekking op basis van duurzaamheid is slechts één van de vele aspecten die bij de dekking een rol spelen. Deze dekking dient vermeerderd te worden met een aanvullende veiligheidsmarge ($c_{dur,y}$). In Nederland is deze marge echter op 0 mm gezet, wat dus geen invloed heeft op de berekening. Daarnaast kan de dekking mogelijk worden verminderd bij het gebruik van roestvaststaal ($c_{dur,st}$). Deze vermindering is in Nederland gelijk gesteld aan 0 mm. Tot slot kan de dekking op basis van duurzaamheid worden verminderd als andere aanvullende bescherming ($c_{dur,add}$) worden getroffen, maar ook deze vermindering is in Nederland 0 mm. Daarom kunnen alle vermeerderingen of verminderingen bij dit onderwerp in deze situatie buitenbeschouwing worden gelaten, en kan $c_{min,dur}$ direct worden toegepast worden.

Tevens moet voor het bepalen van de betondekking gekeken worden naar aanhechtingseisen ($c_{min,b}$). Voor traditionele wapeningsstaven dient de diameter van de staaf aangehouden te worden voor de dekking.

Om uiteindelijk tot de toe te passen minimale dekking (c_{min}) te komen, moet de grootste dekkingswaarde van de duurzaamheidseisen, aanhechtingseisen of 10 mm aangenomen worden.

Om van de minimale dekking tot de nominale dekking (c_{nom}) te komen, die toegepast moet worden in het ontwerpproces, dient de minimale dekking worden vermeerderd met een uitvoeringstolerantie (c_{dev}). Deze uitvoeringstolerantie bedraagt 5 mm.

6.1.3.2 Constructie

Wanneer de gehele geometrie inzichtelijk is, kan deze worden geschematiseerd tot een rekenmodel. Belangrijke aspecten bij het schematiseren zijn de opleggingen, de knopen en de scharnieren, evenals de lengtes van de elementen. Deze bepalen namelijk de afstand tussen de knopen en dus de systeemlengten die uiteindelijk benodigd zijn voor de toetsing. Om deze schematisering goed uit te voeren is enig constructief inzicht cruciaal.

6.1.4 Krachtswerking

6.1.4.1 Krachtswerking (Intern)

Krachtswerking ten gevolge van uitwendige belasting

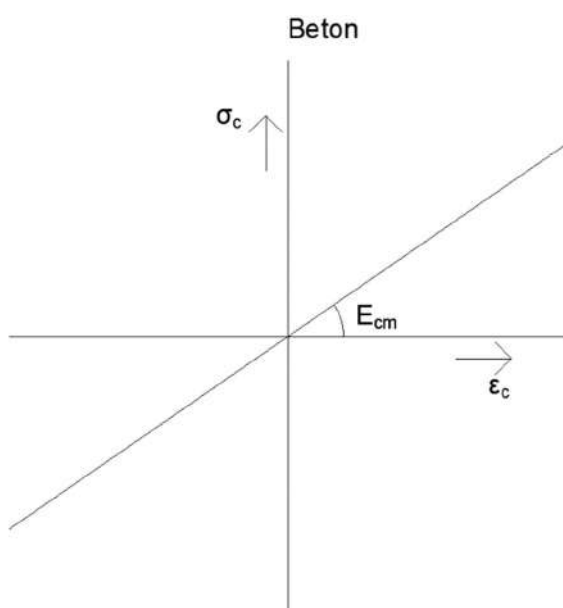
Algemeen

Op basis van de optredende belastingen en geldende rekenschema's kunnen de interne krachten worden berekend. Enkele voorbeelden van deze interne krachten zijn de normaalkracht, de dwarskracht, het buigend moment en wringing. Zoals bij de afbakening omschreven is worden dwarskracht en wringing niet meegenomen in het advies, maar omdat ze wel optreden worden ze in deze deelvraag wel meegenomen. Aangezien beschouwd wordt dat het element alleen verticaal belast wordt treedt geen normaalkracht op, nadere uitleg is dus niet van toepassing.

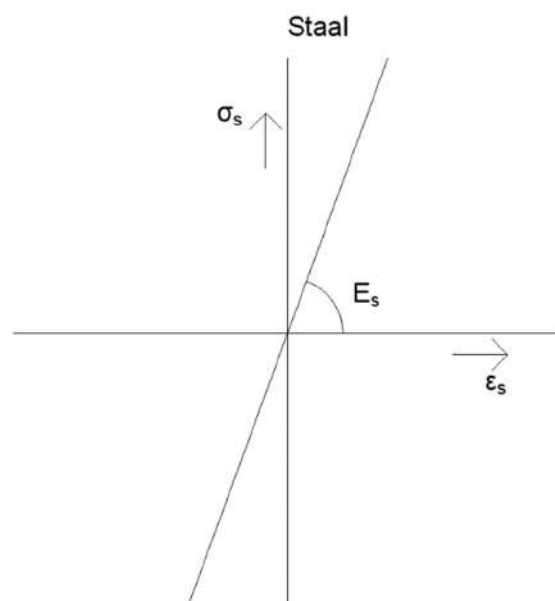
Het berekenen van deze interne krachten kan door middel van verschillende theorieën. Gebruikelijke theorieën waarmee de interne krachten berekend kunnen worden, voor het ontwerpen van puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren, zijn de lineair-elastische theorie of de plasticiteitstheorie.

Lineair-elastische theorie

Zoals in figuur 8 en 9 is weergegeven gaat de lineair-elastische theorie uit van het feit dat de spanning-rekrelaties lineair verlopen. Deze relatie verloop komt voort uit het feit dat uitgegaan is van een ongescheurde doorsnede. Tevens wordt een gemiddelde waarde van de elasticiteitsmodulus aangehouden. De maximale spanning is bij het bepalen van de krachten niet gelimiteerd. Bij de plasticiteitstheorie is dit wel het geval. Deze theorie gaat uit van bezwijk mechanismen vandaar dat de vorm van de spanning-rekdiagrammen zoals bij de UGT-toetsing toegepast dient te worden (figuren 22, 23 & 24) van toepassing zijn. Een berekening van de interne krachten met behulp van de lineair-elastische theorie mag voor de UGT en BGT toegepast worden.



Figuur 8; Spanning-rekdiagram beton.



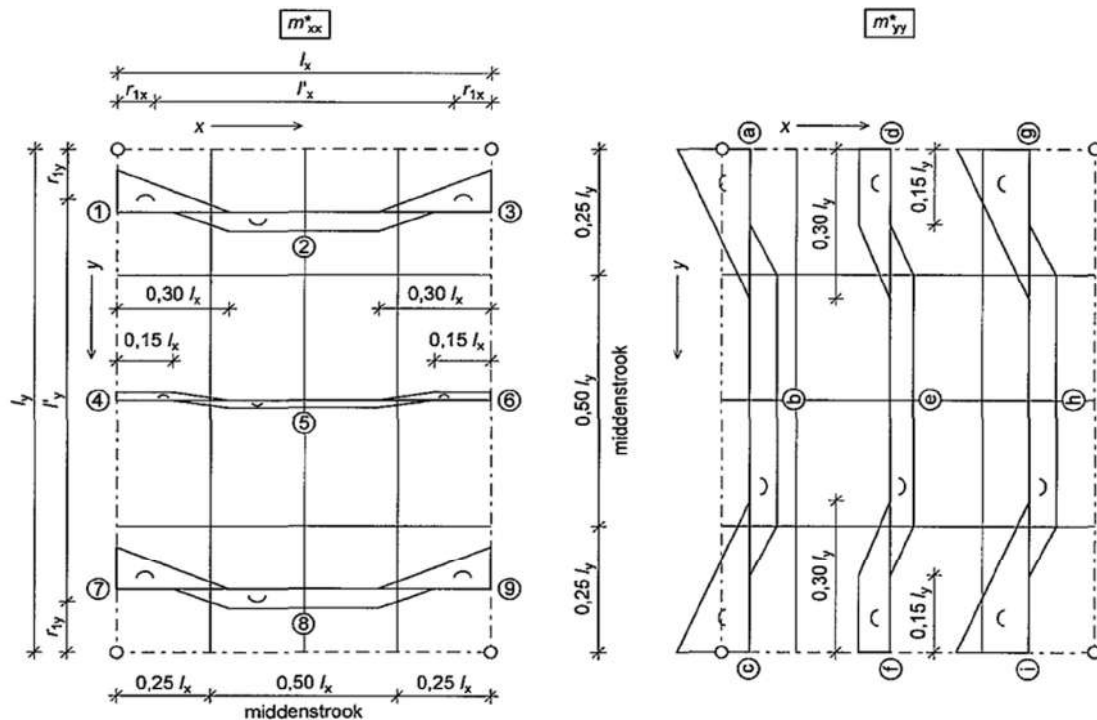
Figuur 9; Spanning-rekdiagram staal.

Een methode om de buigende momenten volgens de lineair-elastische theorie te berekenen is met behulp van de GTB-tabellen. Deze zijn afkomstig uit 'GTB-2013' (Sagel et al., 2013). Deze methode presenteert tabellen met coëfficiënten voor onder andere het berekenen van de momenten. Voor elke mogelijke type veld en oplegging zijn coëfficiënten beschikbaar. "De waarden in de tabellen zijn berekend volgens de lineaire elasticiteitstheorie." (Sagel et al., 2013).

Voor het toepassen van de tabellen zijn voor puntvormig ondersteunde platen diverse voorwaarden gesteld. Deze voorwaarden zijn onder andere:

- De belasting dient gelijkmatig verdeeld te zijn;
- De kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en quasi-blijvende veranderlijke belasting mag niet kleiner zijn dan $0,6 \cdot$ de grootste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting.
- De kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belastingen mag niet kleiner zijn dan $0,8 \cdot$ de grootste waarde van de som van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting.
- De kleinste hart-op-hartafstand van de funderingspalen in de beschouwde richting mag niet kleiner dan $0,8 \cdot$ de grootste hart-op-hartafstand van de funderingspalen.

Indien aan al deze voorwaarden wordt voldaan mogen de GTB-tabellen toegepast worden. De eerste stap die gedaan moet worden bij een lineair-elastische berekening met behulp van de GTB-tabellen is het achterhalen van het type veld. De drie verschillende veldsoorten zijn: middenveld, randveld en hoekveld. Daarnaast zijn er ook nog verschillende soorten opleggingen: zwevend, star of ingeklemd. Met deze informatie kan de juiste tabel worden gezocht om de momentencoëfficiënt te achterhalen. Nog een onderdeel dat nodig is om de juiste momentencoëfficiënt te achterhalen is de verhouding I_y / I_x , De lange zijde delen door de korte zijde. Een verandering in deze verhouding geeft namelijk ook andere waarden voor de momentcoëfficiënten weer. Figuur 10 is een voorbeeld van dergelijke GTB-tabellen, dit tabel is van toepassing op een middenveld met alle randen zwevend.



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																		coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$	
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h		i
1,0	-132	+ 54	-132	- 40	+ 34	- 40	-132	+ 54	-132	-132	+ 54	-132	- 40	+ 34	- 40	-132	+ 54	-132	5,8
1,2	-140	+ 61	-140	- 34	+ 30	- 34	-140	+ 61	-140	-180	+ 69	-180	- 67	+ 53	- 67	-180	+ 69	-180	8,8
1,4	-146	+ 67	-146	- 28	+ 25	- 28	-146	+ 67	-146	-235	+ 89	-235	-102	+ 77	-102	-235	+ 89	-235	13,8
1,6	-151	+ 73	-151	- 22	+ 21	- 22	-151	+ 73	-151	-296	+112	-296	-145	+104	-145	-296	+112	-296	21,1
1,8	-155	+ 78	-155	- 18	+ 17	- 18	-155	+ 78	-155	-363	+140	-363	-195	+134	-195	-363	+140	-363	31,8
2,0	-159	+ 81	-159	- 14	+ 14	- 14	-159	+ 81	-159	-437	+171	-437	-251	+167	-251	-437	+171	-437	46,6

Figuur 10; Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting, GTB-tabel III-2. (Sagel, Braam, & Lagendijk, september 2013)

De overige tabellen met de momentencoëfficiënt zijn aan de bijlagen van dit rapport toegevoegd. Met behulp van formule 1.1 kan het optredende buigend moment in de verschillende posities van de vloer berekend worden. Negatieve resultaten uit de berekening geven aan dat het moment in de bovenkant van de vloer optreedt, terwijl positieve resultaten duiden op een moment in de onderkant van de vloer.

$$M = 0,001 \cdot p \cdot l_x^2 \cdot \text{momentencoëfficiënt} \quad (1.1)$$

Waarin:

p staat voor de vlaklast van de optredende belasting.
 l_x staat voor de lengte van de korte zijde van het vloerveld.
momentencoëfficiënt de coëfficiënt is die opgehaald dient te worden uit de GTB-tabellen.

Bij het berekenen van de interne krachten volgens de lineaire-elastische theorie met behulp van de GTB-tabellen is bij het bepalen van de coëfficiënten rekening gehouden met de wringing. Voor dit onderwerp is dus geen extra handeling vereist bij het toepassen van deze methode.

De wapeningsmomenten in de plaat waarmee ontworpen dient te worden (m_{xx}^* en m_{yy}^*) zijn in de tabellen als volgt bepaald:

$$m_{xx}^* = m_{xx} \pm m_{xy}$$

$$m_{yy}^* = m_{yy} \pm m_{xy}$$

Waarin:

m_{xx} staat voor het buigend moment per lengte in x-richting.

m_{yy} staat voor het buigend moment per lengte in y-richting.

m_{xy} staat voor het wringend moment.

“De positieve en negatieve momenten in de middenstrook en de positieve momenten in de kolomstrook mogen worden vermenigvuldigd met de factor Ψ_1 . De factor Ψ_1 is ook van toepassing op de negatieve momenten in de kolomstrook.” (Sagel et al., 2013).

Het bepalen van de reductiefactor (Ψ_1) kan gedaan worden op basis van theorie uit de ‘GTB-2013’ (Sagel et al., 2013). “Met een reductiefactor wordt in rekening gebracht dat langs de omtrek van de funderingspalen de paalreactie werkt; het is geen puntlast in het hart van de paal. Ook verwerkt de reductiefactor het deel van de belasting dat direct boven de funderingspalen aangrijpt en direct wordt afgedragen naar de palen zonder dat het leidt tot momenten in de vloer.” (Braam, 2012).

Bij de reductiefactor wordt onderscheid gemaakt tussen twee verschillende aspecten; de middenvelden & randvelden in de richting waarover de plaat doorgaat en de randvelden in de richting loodrecht op de rand & hoekvelden. Formule ‘A’ is voor de eerste situatie van toepassing en formule ‘B’ voor de tweede situatie.

$$\Psi_1 = (1 - ((4 * r_1)/(3 * l_1)))^2 \quad (A)$$

&

$$\Psi_1 = (1 - ((2 * r_1)/(3 * l_1)))^2 \quad (B)$$

Waarin:

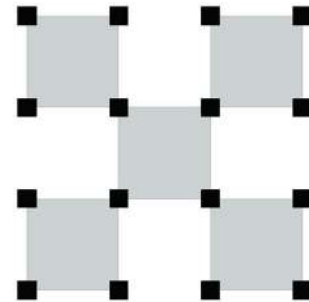
r_1 bij vlakke plaatvloeren zonder verbrede paalkop of paalkopplaat gelijk staat aan $\frac{1}{2} * d_{paal}$.

l_1 staat voor de overspanning in de richting van de beschouwde momenten.

Bij bedrijfsvloeren moet ten allen tijde de veranderlijke belasting op bepaalde posities nog vermenigvuldigd worden met factoren die de belast-onbelast, door middel van schaakbordbelasting, relatie in werking brengt. Deze relatie houdt in dat het ene vloerveld belast is terwijl het andere vloerveld niet belast is, zoals weergegeven in figuur 11 en 12. Dit fenomeen resulteert in aanzienlijk grotere buigende veldmomenten. De factoren die de relatie in werking brengen komen voort uit CUR-aanbeveling 111 (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019) en zijn als volgt:

-Voor een middenveld:
Posities 'b', 'h', '2' en '8'; x 1,75
Posities 'e' en '5'; x 2,70

-Voor een rand- of hoekveld:
Posities 'b', 'h', '2' en '8'; x 1,65
Posities 'e' en '5'; x 2,50



Figuur 11; Schaakbordpatroon



Figuur 12; Belast - onbelast

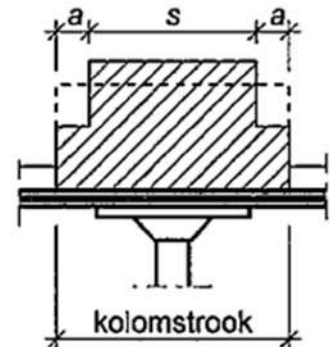
Verder biedt de GTB-2013 de mogelijkheid om de negatieve momenten in de kolomstrook te herverdelen. 60% van het totale negatieve moment in de kolomstrook moet verdeeld worden over de kolomstrookbreedte ($1/2 \cdot l$) en de resterende 40% moet extra gelijkmatig verdeeld worden over de wapeningsbaan 's' (figuur 13).

$$s = b_2 + 1,5 \cdot b_1 + 1,5 \cdot h$$

Waarin:

- h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.
- b_1 staat voor de paalafmeting in de beschouwde buigingsrichting.
- b_2 staat voor de paalafmeting loodrecht op de beschouwde buigingsrichting.

Indien 's' groter is dan 0,7 maal de breedte van de kolomstrook, behoeft geen onderverdeling te worden aangebracht.



Figuur 13; Wapeningsbaan. (Sagel, Braam, & Lagendijk, september 2013)

Beperkte herverdeling

Naast de lineair-elastische theorie biedt Eurocode 2 de mogelijkheid om een lineair-elastische berekening te doen met beperkte herverdeling. Artikel 5.5 van de NEN-EN 1992-1-1 stelt dat onder bepaalde voorwaarde een beperkte herverdeling toegestaan is.

De voorwaarden waaraan voldaan dient te worden zijn als volgt:

- Doorgaande balken of platen dienen:
 1. overwegend zijn onderworpen aan buiging, en
 2. een verhouding van lengten van aangrenzende overspanningen hebben in een bereik van 0,5 tot 2.

Indien aan deze voorwaarden is voldaan, is herverdeling van buigende momenten toegestaan met behulp van de formules 5.10a & 5.10b zonder speciale controle van de rotatiecapaciteit, op voorwaarde dat:

$$\delta \geq k_1 + k_2 * x_u / d \quad \text{voor } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \quad (5.10a)$$

$$\delta \geq k_3 + k_4 * x_u / d \quad \text{voor } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \quad (5.10b)$$

$$\delta \geq k_5 \quad \text{indien klasse B- en klasse C-wapening is gebruikt.}$$

$$\delta \geq k_6 \quad \text{indien klasse A-wapening is gebruikt.}$$

Waarin:

δ	staat voor de verhouding van het herverdeelde moment ten opzichte van het elastische moment.
x_u	staat voor de hoogte van de betondrukzone bij de bepaling van de uiterste momentweerstand.
d	staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.
k_1	gelijk moet staan aan $f_{yd} / (500 + f_{yd})$
k_2	gelijk moet staan aan 1,0
k_3	gelijk moet staan aan $7f_{yd} / (\epsilon_{cu} * 10^6 + 7f_{yd})$
k_4	gelijk moet staan aan 1,0
k_5	gelijk moet staan aan 0,7
k_6	gelijk moet staan aan 0,8
ϵ_{cu}	staat voor de grenswaarde van de betonstuik.
f_{yd}	staat voor de rekenwaarde waarde van de vloeigrens van betonstaal.

Verder vermeldt het artikel ook dat:

- (1) Rekening moet zijn gehouden met de invloed van elke momentenherverdeling bij alle aspecten van het ontwerp.
- (2) Bij de toetsing van constructieve elementen in de UGT een lineaire berekening met beperkte herverdeling mag zijn toegepast.
- (3) De momenten in de UGT, berekend door een lineair-elastische berekening, mogen zijn herverdeeld op voorwaarde dat de verkregen verdeling van de momenten in evenwicht blijft met de optredende belasting.
- (4) Herverdeling niet behoort te zijn uitgevoerd in omstandigheden waarin rotatiecapaciteit niet met voldoende betrouwbaarheid kan zijn bepaald.
- (5) Bij puntvormig ondersteunde platen herverdeling alleen toegelaten is indien dit ter plaatse van de puntvormige ondersteuning niet leidt tot een verlaging van het steunpuntsmoment. Een reductie van piekmomenten ter plaatse van het steunpunt door het toepassen van enige spreiding over de beschouwde kolomstrook is toelaatbaar.

Plasticiteitstheorie

Verder is het mogelijk om de optredende momenten volgens de plasticiteitstheorie te berekenen. Een berekening van de momenten volgens de plasticiteitstheorie houdt in dat de krachten gaan herverdelen. Om de krachten te herverdelen moet de constructie in staat zijn om deze herverdeling te waarborgen. Vandaar dat eisen zijn gesteld om die herverdelingscapaciteit te waarborgen. Vanuit de NEN-EN 1992-1-1 zijn voorwaarden gesteld voor het toepassen van de plasticiteitstheorie. De voorwaarden, die op de constructie zijn opgelegd, komen voort uit artikel 5.6 en zijn als volgt:

- (1) De momenten verkregen met een plastische berekening mogen alleen toegepast worden voor UGT-controles.
- (2) De ductiliteit van de kritische doorsnede moet voldoende zijn, zodat de doorsnede zich plastisch kan gaan gedragen. De vereiste ductiliteit mag als voldoende zijn beschouwd bij balken, raamwerken en platen zonder uitdrukkelijke toetsing indien aan al het volgende voldaan is:
 - De doorsnede van de trekwapening is zodanig beperkt dat voor iedere doorsnede: $x_u/d \leq 0,25$ voor beton met sterkteklassen $\leq C50/60$; $x_u/d \leq 0,15$ voor beton met sterkteklassen $\geq C55/67$
 - Het betonstaal is van klasse B of C
 - De verhouding van de momenten ter plaatse van tussensteunpunten tot veldmomenten behoort te liggen tussen de 0,5 en 2,0.
- (3) De plastische berekening moet zijn gebaseerd op de statische methode (ondergrens) of de kinematische methode (bovengrens).

In het geval een plastische berekening op basis van de 'statische methode' wordt gedaan, moet een systeem gekozen waarbij statische evenwicht is gewaarborgd en waarbij de belastingen op het constructiedeel naar de ondersteuning is afgedragen.

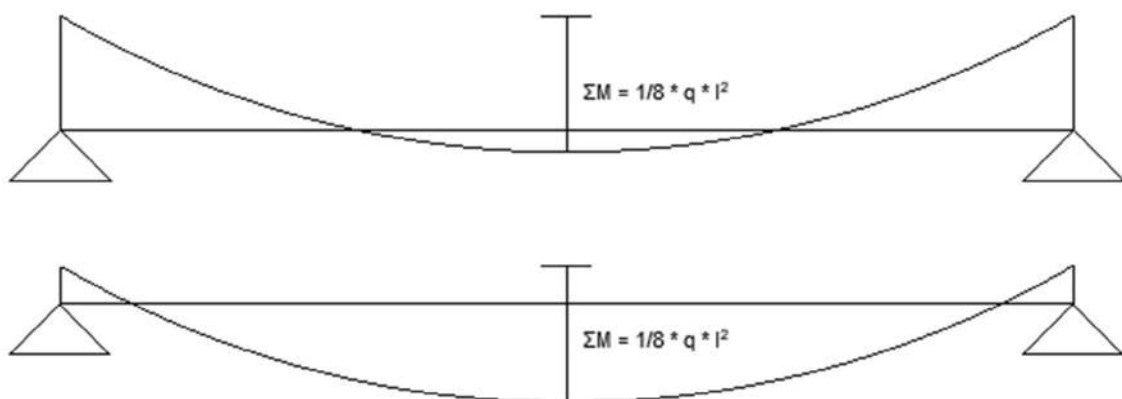
In het geval een plastische berekening op basis van de 'kinematische methode' wordt gedaan, moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

 - In de bezwijktoestand moet een constructie of constructiedeel geschematiseerd zijn tot een mechanisme dat bestaat uit onvervormde delen, onderling en met de ondersteuning verbonden door scharnieren. Deze scharnieren kunnen vloeischarnieren (bij ligger), vloeilijnen (bij platen) en scharnierende opleggingen zijn. Het aantal scharnieren en de plaats daarvan moet zo zijn gekozen dat uit het oogpunt van geometrie rotatie van de scharnieren mogelijk is;
 - Statisch evenwicht dient aanwezig te zijn;
 - Het in rekening te brengen vloeimoment in een vloeischarnier of vloeilijn moet zijn afgeleid uit de maximale momenten die horen bij de in het scharnier aanwezige wapeningsrichting; hierbij hoeft uitsluitend het evenwicht in acht te zijn genomen, ervan uitgaande dat de wapeningsstaven alleen trekkracht in hun oorspronkelijke richting opnemen;
 - Het aantal scharnieren en de plaats daarvan moeten zo zijn gekozen, dat, de uit het statische evenwicht volgende, opneembare uitwendige belasting minimaal is;
 - De scharnieren moeten in staat zijn de optredende dwarskrachten over te nemen.
- (4) Als platen plastisch zijn berekend moet rekening zijn gehouden met ongelijkmatige wapeningsverdeling, vasthoudkrachten in vrije hoeken en wringing langs vrije randen.

- (5) De grootte van het steunpuntsmoment bij puntvormig ondersteunde platen ter plaatse van de puntvormige ondersteuning moet bepaald zijn met de lineaire-elasticiteitstheorie. Een beperking van de grootte van dit moment door toepassing van enige plastische herverdeling is niet toelaatbaar.

Een berekening van de momenten volgens de plasticiteitstheorie gaat uit van het principe dat de doorsnede volledig uit genut wordt. Zoals aan het begin van deze paragraaf besproken is wordt bij de plasticiteitstheorie uitgegaan van bezwijk mechanismen. Het bereiken van deze bezwijk mechanismen kan op verschillende manieren. Eén van deze manieren om bezwijken te bereiken is door middel van vloeilijnen. Vloeilijnen zijn patronen in de vloer waarbij de krachten in die specifieke lijn zo veel opgelopen zijn, dat de krachten in die lijnen leiden tot bezwijken. Deze krachten kunnen op verschillende manieren berekend worden.

Als uitgangspunt van het berekenen van interne krachten kunnen de formules die bekend staan als 'vergeet-me-nietjes' toegepast worden. 'Vergeet-me-nietjes' zijn formules gepresenteerd in het boek 'Tabellen voor bouw- en waterbouwkundige' (Blok, 2018). De formule die toegepast kan worden om de momentensom te berekenen is: $\Sigma M = 1/8 * q * l^2$, zie figuur 14, bij een gelijkmatig verdeelde belasting q (N/m^2).



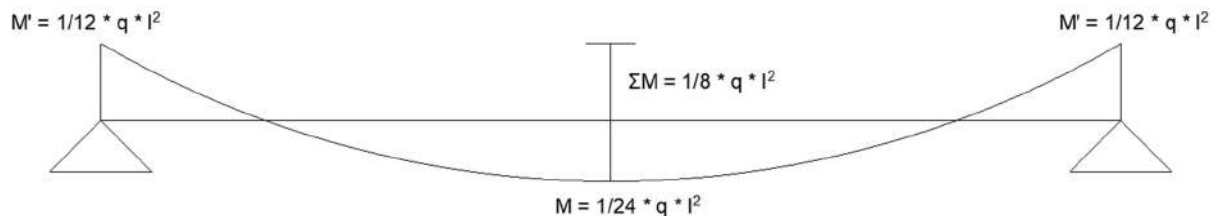
Figuur 14; Totale momentensom bij mogelijke herverdelingen.

Bij een berekening van de momenten met behulp van de plasticiteitstheorie mogen deze berekeningsresultaten herverdeeld worden. Naast de boven genoemde voorwaarden zijn nog een paar voorwaarden als het over momentberekeningen gaat. De herverdeling mag elke willekeurige verdeling worden zolang aan deze extra voorwaarden wordt voldaan. De extra voorwaarden zijn als volgt:

- 1) De verhouding tussen het steunpuntmoment en het veldmoment moet tussen de 0,5 en de 2 liggen;
- 2) De totale momentensom moet gelijk zijn $1/8 * q * l^2$

Aangezien zoals eerder omschreven is, mag de plasticiteitstheorie alleen in de UGT worden toegepast. In de BGT dient als nog een berekening opgezet te worden aan de hand van de lineair-elastische theorie. Het levert inefficiënties op om grote verschillen in de lijnen te krijgen door de herverdeling.

Om de herverdeling dicht tot de lineair-elastische theorie te krijgen bestaan verschillende formules die tot het veldmoment en steunpuntsmoment leiden. Deze formules zijn gebaseerd op dat de momenten worden herverdeeld respectievelijk $1/3$ en $2/3$, naar het veld en het steunpunt, zie figuur 15. Vandaar dat in de volgende gepresenteerde formules $1/24$ en $1/12$ aangegeven staan, $1/8 * 1/3 = 1/24$ & $1/8 * 2/3 = 1/12$.



Figuur 15; Totale momentensom met herverdeling om lineair-elastische theorie na te bootsen.

$$M = 1/24 * q * l^2 \quad \text{voor het veldmoment}$$

&

$$M' = 1/12 * q * l^2 \quad \text{voor het steunpuntsmoment}$$

Waarin:

- M staat voor het veldmoment in de vloeilijn.
- M' staat voor het steunpuntsmoment in de vloeilijn.
- q staat voor de optredende lijnlast.
- l staat voor de lengte van de overspanning.

Dwarskracht

Aangezien in dit onderzoek gekozen is om dwarskracht niet te beschouwen is de berekening van de dwarskracht niet verder uitgewerkt in dit rapport. Het berekenen van de ponskracht, een vorm van dwarskracht, wordt daarentegen hieronder wel verder uitgewerkt.

Pons

Pons dient in de uiterste grenstoestand beschouwd te worden. Bij het berekenen van de ponskracht moet dus uitgegaan zijn van de rekenwaarde van de belastingen. Het berekenen van de ponskracht kan met de volgende formule:

$$V_{Ed} = A * p_{Ed}$$

Waarin:

- V_{Ed} staat voor de rekenwaarde van de ponskracht.
- A staat voor het oppervlakte.
- p_{Ed} staat voor de rekenwaarde van de vlaklast.

Wringing

Naast het buigende moment en de dwarskracht is wringing een interne krachtswerking. Bij doorlopende platen is het aandeel van wringing een klein onderdeel van de totale belasting. De platen zijn voornamelijk belast door buigende momenten, maar omdat wringing een interne krachtswerking is, dient dit toch beschouwd te worden tijdens het ontwerpen. Aan de uiteinden van de plaat, dus ter plaatse van rand- en hoekvelden, heeft wringing een groter aandeel. Dit komt doordat een doorlopende plaat, waarbij de wringing wordt doorgegeven in de vorm van een moment, een einde krijgt waarbij het moment niet langer kan worden doorgegeven.

Zoals bij de lineaire-elastische theorie al is besproken, wordt wringing al meegenomen bij de methode van de GTB-tabellen. Daarentegen is bij de plasticiteitstheorie wringing niet meegenomen in de momentenberekening. Hoofdstuk 6.3 van Eurocode 2 behandelt specifiek het onderwerp 'wringing'. Artikel 6.3.1 uit (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020) biedt richtlijnen over hoe wringing beschouwd moet worden bij betonconstructies. Dit artikel stelt dat:

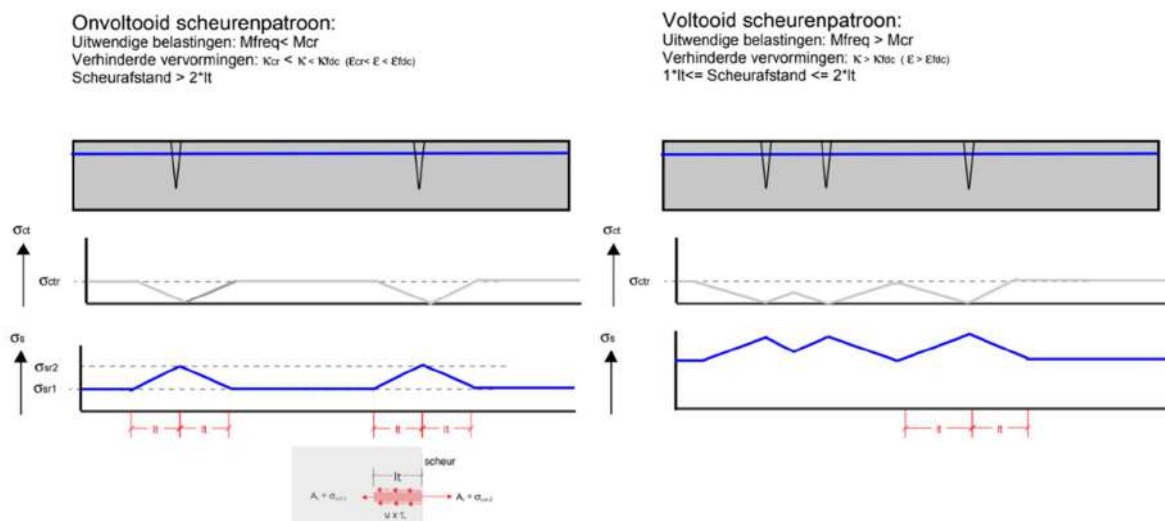
- (1) Indien het statisch evenwicht van een constructie afhangt van de wringweerstand van onderdelen van de constructie, moet een volledige wringberekening zijn gemaakt, die zowel de uiterste grenstoestand als de bruikbaarheidgrenstoestand omvat.
- (2) Indien zich in statisch onbepaalde constructies, uitsluitend ten gevolge van het beschouwen van compatibiliteitsvoorwaarden, wringing voordoet en de constructie is voor zijn stabiliteit niet afhankelijk van de wringweerstand, is het in het algemeen niet nodig wringing te beschouwen in de uiterste grenstoestand. In zulke gevallen behoort een minimale wapening in de vorm van beugels en langsstaven te zijn aangebracht om overmatige scheurvorming te voorkomen.
- (3) De wringweerstand van een onderdeel mag zijn berekend op basis van een dunwandige gesloten doorsnede, waarin is voldaan aan evenwicht door een gesloten schuifstroom. Massieve doorsneden mogen zijn gemodelleerd door gelijkwaardige dunwandige doorsneden.
- (4) De verdeling van de optredende wringende momenten over de deeldoorsneden behoort in verhouding te staan tot hun niet-gescheurde wringstijfheid. Voor niet-massieve doorsneden behoort de gelijkwaardige wanddikte niet groter te zijn dan de werkelijke wanddikte.
- (5) Elke deeldoorsnede mag afzonderlijk zijn berekend en ontworpen.

Aangezien in dit onderzoek gekozen is om wringing niet te beschouwen is de berekening van het wringend moment niet verder uitgewerkt in dit rapport.

Krachtenwerking ten gevolge van materiaaleigenschappen.

Naast de interne krachten ten gevolge van uitwendige belastingen ontstaan ook interne krachten ten gevolge van materiaaleigenschappen. Zoals bij de belastingen omschreven is ontstaan vanuit materiaaleigenschappen onder andere krimp. In het geval van puntvorming ondersteunde vlakke plaatvloeren wordt deze krimp een verhinderde krimp. Deze verhinderde krimp levert op zijn beurt krimpspanningen op in de vorm van trek. Op het moment dat de trekspanningen (σ_{ct}) groter worden dan de treksterkte (f_{ct}) ontstaan er scheuren. Een belangrijk aspect rondom het scheuren is het scheurenpatroon.

Er zijn twee soorten scheurpatronen: onvoltooid & voltooid (figuur 16). Indien de trekspanning in de doorsnede toeneemt, neemt de rek ook toe. Een ongescheurde betondoorsnede gaat scheuren als de betontrekspanning (σ_{ct}) groter wordt dan de treksterkte (f_{ct}) van het beton. Zodra de eerste scheur ontstaat, is er sprake van een gescheurde betondoorsnede met een onvoltooid scheurenpatroon. Na het ontstaan van de eerste scheur neemt de spanning weer af. Als de spanning en dus rek weer toenemen, scheurt de volgende zwakste doorsnede. In het onvoltooid scheurenpatroon blijft de trekspanning toenemen tot de treksterkte van het beton onafhankelijk van de optredende rek (ϵ) (zie figuur 18), zolang deze groter is dan ϵ_{cr} en kleiner is dan $\epsilon_{fd,c}$. Bij een onvoltooid scheurenpatroon neemt het aantal scheuren toe en niet de staalspanning in de scheur. Deze blijft namelijk de waarde van σ_{sr} houden.



Horizontaal evenwicht:

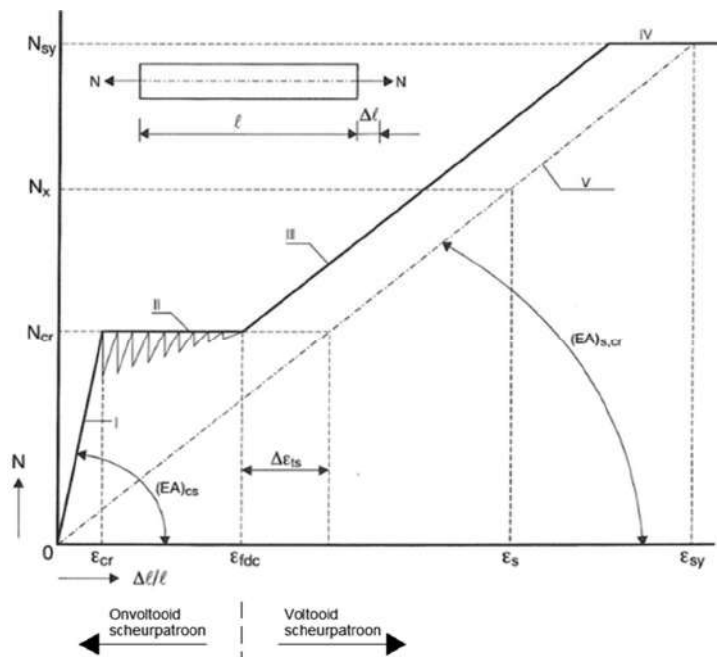
$$A_s \cdot \sigma_{sr1} + l_t \cdot u \cdot \tau_c = A_s \cdot \sigma_{sr2}$$

$l_t = A_s \cdot (\sigma_{sr2} - \sigma_{sr1}) / (u \cdot \tau_c)$ = overdrachtslengte, ook als staalspanning in de scheur groter wordt dan σ_{sr2} , dan blijft dit de formule voor l_t

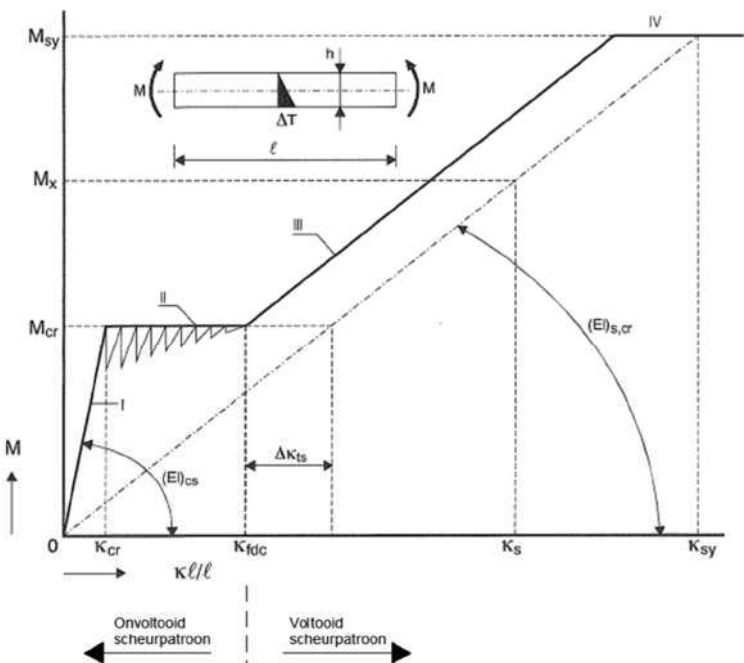
$l_t = A_s \cdot (\sigma_{sr2} - \sigma_{sr1}) / (u \cdot \tau_c)$ = overdrachtslengte, ook als staalspanning in de scheur groter wordt dan σ_{sr2} , dan blijft dit de formule voor l_t

$$l_{s,max} = s_{r,max} = 2 \cdot l_t$$

Figuur 16; Onvoltooid en voltooid scheurenpatroon (Naafs, 2024)



Figuur 18; Kracht-tekdiagram gewapend beton. (Braam, Van Breugel, Niemantsverdriet, Van der Veen, & Walraven, 2001)



Figuur 17; Moment-krommingsdiagram gewapend beton. (Braam, Van Breugel, Niemantsverdriet, Van der Veen, & Walraven, 2001)

Om het kracht-tekdiagram (figuur 18) en het moment-krommingsdiagram (figuur 17) van gewapend beton toegankelijk te maken zijn deze verdeeld in verschillende gebieden.

Gebied I	Fase van ongescheurd beton.
Gebied II	Fase van het onvoltooid scheurenpatroon; In deze fase bevinden de scheuren zich nog op relatief grote afstand van elkaar en beïnvloeden elkaars grootte nauwelijks.
Gebied III	Fase van het voltooid scheurenpatroon; In deze fase komen er geen nieuwe scheuren meer bij, maar de bestaande scheuren worden wijder.
Gebied IV	Fase van vloeien wapeningsstaal.
Gebied V	Kracht-tekrelatie voor het staal alleen, dus zonder betonomhulling.

Bij een toenemende rek blijven, in een onvoltooid scheurenpatroon, scheuren ontstaan. Iedere scheur heeft aan weerszijde van het midden een overdrachtslengte (l_{vr}/l_t). Zodra de overdrachtslengten van alle individueel gevormde scheuren elkaar overlappen dan is het onvoltooid scheurenpatroon overgegaan in een voltooid scheurenpatroon. De scheurafstand is dan minimaal l_t en maximaal $2 \cdot l_t$. In het eerste geval is de volgende scheur gelijk ontstaan aan het einde van de overdrachtslengte en in het tweede geval is de scheurafstand zodanig dat de overdrachtslengten van twee naast elkaar gevormde scheuren elkaar net niet overlappen. Bij een voltooid scheurenpatroon ontstaan geen nieuwe scheuren meer, maar neemt de staalspanning toe en worden de bestaande scheuren wijder bij een toenemende rek.

Doordat scheurvorming optreedt ten gevolge van verhinderde krimp, is sprake van een onvoltooid scheurenpatroon (gebied II, figuur 18). Deze aanname kan gemaakt worden, omdat beton, gescheurd ten gevolge van verhinderde krimp, een kleinere optredende rek heeft dan de rek waarbij een onvoltooid scheurenpatroon overgaat in een voltooid scheurenpatroon (ϵ_{fdc}). Het studieboek 'Ontwerpen en dimensioneren van vloeistofkerende constructies' (Braam, Van Breugel, Niemantsverdriet, Van der Veen, & Walraven, 2001) stelt dat ϵ_{fdc} als volgt bepaald kan worden:

$$\epsilon_{fdc} = (60 + 2,4 * \sigma_{s,cr}) * 10^{-6} \quad (5.4)$$

Waarin:

$\sigma_{s,cr}$ staat voor de staalspanning ten tijde van het scheuren van beton.

Het buigende moment ten gevolge van verhinderde krimp staat tevens bekend als het scheurmoment. Dit scheurmoment komt voort vanuit krimpspanningen. Voor betondoorsneden met alleen wapeningsstaal stelt het 6^e blad van cement uit 2005 (Braam & Van den Bos, 2005) dat de krimpspanning op het moment van scheuren kan worden berekend door:

$$\sigma_{cr,b} = 0,60 * f_{ctfl,m,0}$$

Waarin:

$f_{ctfl,m,0}$ staat voor de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte.

Deze factor 0,6 is gebaseerd op 60%. De scheurspanning in het beton wordt door het langzaam opbouwen van de vervorming, en dus de spanning, gelijkgesteld aan 60% van de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte op het moment van scheuren.

Aangezien naast het traditionele wapeningsstaal ook staalvezels wordt toegepast, moet een aandeel van deze toegepaste vezels gerekend worden. Voor betondoorsneden met zowel wapeningsstaal als staalvezels stelt het 6^e blad van cement uit 2023 (Van Lanen & Reijers, 2023) dat de krimpspanning op het moment van scheuren kan worden berekend door:

$$\sigma_{cr,b} = 0,85 * f_{ctfl,m,0}$$

Waarin:

$f_{ctfl,m,0}$ staat voor de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte.

De factor 0,85 is op basis van praktijkervaring vastgesteld. Hierbij is als uitgangspunt gesteld dat minimaal 0,15% wapeningsstaal aan de betondoorsnede is toegevoegd. Deze ondergrens bestaat om een onvoltooid scheurenpatroon te waarborgen. Met minder wapening neemt de spanning toe en ontstaat de kans op een voltooid scheurenpatroon, waardoor deze krimpspanningsberekening niet meer van toepassing is.

Indien alleen van staalvezels wordt gesproken kan een aandeel van wapeningsstaal niet gerekend worden en geldt dus:

$$\sigma_{cr,b} = f_{ctfl,m,0}$$

Waarin:

$f_{ctfl,m,0}$ staat voor de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte.

Vanuit verhinderde krimp ontstaat trek gecombineerd met buiging. Daarom wordt bij het bepalen van de krimpspanning uitgegaan van de buigtreksterkte (f_{ctfl}) in plaats van de gemiddelde treksterkte (f_{ctm}). De gemiddelde korteduur-buigtreksterkte bij een constructie die ouder is dan 28 dagen ($f_{ctfl,m,0}$), mag volgens het 6^e blad van cement uit 2005 met de volgende formule berekend worden:

$$f_{ctfl,m,0} = (0,9 * (1,05 + (0,05 * (f_{cc,k,0} + 8))) * (1600-h))/1000$$

Waarin:

$f_{cc,k,0}$ staat voor de karakteristieke 28-daagse kubusdruksterkte.

h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.

Op basis van de berekende scheurspanning kan ook het optredende scheurmoment berekend worden. Het 6^e blad van cement uit 2005 (Braam & Van den Bos, 2005) stelt dat:

$$M_{cr} = 1,4 * \sigma_{cr,b} * W$$

Waarin:

W staat voor het weerstandmoment van de beschouwde doorsnede en gelijk moet staan aan;
 $1/6 * b * h^3$

b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.

h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.

$\sigma_{cr,b}$ staat voor de spanning waarbij scheurvorming optreedt.

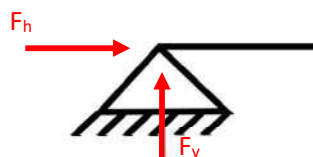
Om het scheurcriterium na te bootsen, is het nodig gebleken de treksterkte met een factor 1,4 te vermenigvuldigen. Deze factor is toegevoegd om een goede overeenstemming tussen de praktijk en theorie te verkrijgen. "Dit kan worden gezien als het verdisconteren van de voortschrijdende sterkteontwikkeling van beton. Echter, het kan in zekere zin ook een 'compensatie' zijn voor het feit dat geen normaalkracht uit belemmerde rek is meegenomen." (Braam & Van den Bos, 2005).

6.1.4.2 Krachtswerking (Extern)

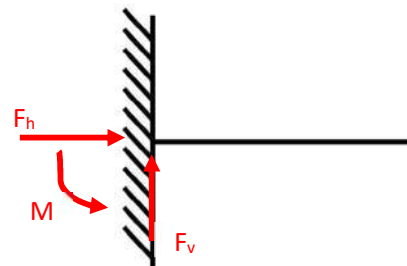
Naast de interne krachtswerking in het element resulteren de belastingen ook in externe krachten. Deze externe krachten staan ook wel bekend als oplegreacties. Rekentechnisch bestaan drie soorten opleggingen: roloplegging (figuur 21), scharnieroplegging (figuur 20) en inklemming (figuur 19). Elk type oplegging heeft andere oplegreacties. Bij een roloplegging zijn horizontale verplaatsing en rotatie mogelijk, waardoor de oplegreactie alleen een kracht in de verticale richting is. Een scharnieroplegging kan wel roteren, maar rekentechnisch gezien niet verplaatsen. Daarom zijn de oplegreacties bij dit type oplegging krachten in de verticale- en horizontale richting. Bij een inklemming is noch rotatie noch verplaatsing mogelijk en zijn de oplegreacties dus een horizontale en verticale kracht, maar ook een rotatiemoment.



Figuur 21; Roloplegging.



Figuur 20; Scharnieroplegging.



Figuur 19; Inklemming.

Vanuit het geschematiseerde rekenmodel rondom de situatie van de puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer zijn alle opleggingen scharnieropleggingen en kunnen de oplegreacties dus verticale en horizontale krachten zijn. Aangezien, bij puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren die alleen door verticale lasten belast worden, geen horizontale krachten ontstaan blijft de verticale kracht de enige oplegreactie.

Deze verticale reactiekracht wordt ook wel omschreven als de paalbelasting. Het cruciale van de externe krachtswerking blijft dat de elementen waar de externe krachten op werken, zoals een andere constructie of de grond of in dit geval de funderingspaal, gecontroleerd te worden of het deze krachten op kan nemen.

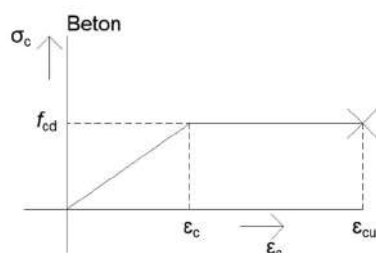
6.1.5 Toetsing

Algemeen

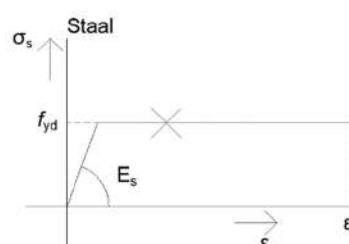
Gebruikelijk is om de toetsing van een ontworpen constructief element uit te voeren door eerst de doorsnede in de UGT te toetsen. Een UGT-toetsing toont aan dat elementen sterk genoeg worden beschouwd. Daarna worden de aannames getoetst aan de bruikbaarheidseisen. Dit wordt een BGT-toetsing genoemd.

Bij dit onderzoek is gekozen om deze volgorde om te draaien om tot het meest optimale ontwerp te komen. Eerst de BGT te toetsen, zodat het element voldoet aan de bruikbaarheidseisen en daarna waar nodig aan te vullen om tot voldoende sterkte te komen. De uitvoering van deze aangepaste volgorde is hieronder omschreven.

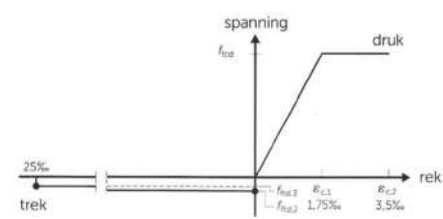
Bij de toetsing van de verschillende situaties zijn andere krachten en vervormingen aanwezig. Vandaar dat een verschil in de spanning-rekdiagrammen zit. Naast dat per situatie een verschil aanwezig is, is er ook een verschil tussen de materialen onderling. Voor elk verschillend materiaal is een ander spanning-rekdiagram van toepassing. De spanning-rekdiagrammen in de UGT zijn weergegeven in de figuren 22, 23 & 24, waarbij figuur 23 is voor beton, figuur 24 voor wapeningsstaal en figuur 22 voor staalvezelversterktbeton. In de UGT zijn de uiterste krachten van toepassing, waarbij rekenwaarden toegepast dienen te worden in de toetsing.



Figuur 23; Spanning-rekdiagram beton (UGT)

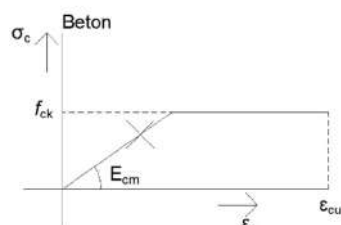


Figuur 24; Spanning-rekdiagram staal (UGT)

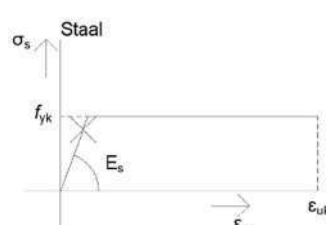


Figuur 22; Spanning-rekdiagram staalvezelversterktbeton (UGT). (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019)

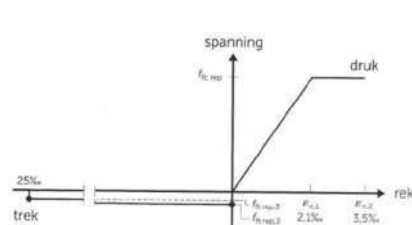
Zoals eerder vermeld zijn in de BGT de krachten en vervormingen anders. Vandaar dat de diagrammen ook anders lopen. De spanning-rekdiagrammen in de BGT zijn voor de verschillende materialen weergegeven in figuren 25, 26 & 27, waarbij figuur 27 is voor beton, figuur 26 voor wapeningsstaal en figuur 25 voor staalvezelversterktbeton. In de BGT gaat het om de bruikbaarheidseisen, waarbij karakteristieke waarden toegepast dienen te worden in de toetsing.



Figuur 27; Spanning-rekdiagram beton (BGT).



Figuur 26; Spanning-rekdiagram wapeningsstaal (BGT).



Figuur 25; Spanning-rekdiagram wapeningsstaal (UGT). (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019)

6.1.5.1 Toetsing BGT (Traditionele doorsnede)

Een toetsing van de BGT-situatie gaat hoofdzakelijk over de toetsing van de optredende vervorming van de elementen. In het geval dat in het element beton wordt toegepast, wat in dit onderzoek van toepassing is, dient ook de scheurwijdte gecontroleerd te worden. De toetsingsprocedures van deze twee onderwerpen staan hieronder nader uitgelegd.

Scheurwijdte

Scheurvorming in de vloer kan naast problemen in de functionaliteit ook de levensduur verkorten. Eurocode 2 biedt verschillende mogelijkheden om de scheurwijdte te toetsen. Voor gewapende doorsnedes bestaan drie verschillende manieren om scheurvorming te beheersen. Deze manieren zijn als volgt: het toepassen van een minimumhoeveelheid hechtende wapening, scheurbeheersing zonder directe berekening en berekenen van scheurwijdtes.

Verder is het van belang dat bij het controleren van de maximale toegestane scheurwijdte wordt gerekend met belastingen uit de frequente belastingscombinatie.

In tabel 11 zijn de grenswaarden $w_{\max}$ voor de berekende scheurwijdte gepresenteerd.

Milieuklasse	Elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting	Elementen met een combinatie van betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	Elementen met uitsluitend voorspanstaal met aanhechting
	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie
X0, XC1	$w_{\max} \leq 0,40 \text{ mm}^a$	$w_{\max} \leq 0,30 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 275 \text{ MPa}$
XC2, XC3, XC4	$w_{\max} \leq 0,30 \text{ mm}$	$w_{\max} \leq 0,20 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 175 \text{ MPa}$
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3	$w_{\max} \leq 0,20 \text{ mm}$	$w_{\max} \leq 0,10 \text{ mm}$	$\Delta\sigma_p \leq \xi 75 \text{ MPa}$
^a Voor milieuklasse X0 en XC1 heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid; deze grens is gesteld om een in het algemeen aanvaardbaar uiterlijk te verkrijgen. Bij afwezigheid van voorwaarden ten aanzien van het uiterlijk mag deze beperking zijn afgezwakt.			

Tabel 11; Aanbevolen waarden van $w_{\max}$ en daarvan afgeleide grootheden. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

In het geval dat de scheurwijdtes zijn berekend in overeenstemming met de artikelen 7.3.3 of 7.3.4, mogen de waarden in tabel 7.1N zijn vermenigvuldigd met een factor k_x

$$k_x = c_{\text{toegepast}} / c_{\text{nom}} \leq 2$$

Scheurvormingsbeheersing ten gevolge van het toepassen van een minimumhoeveelheid hechtende wapening staat omschreven in NEN-EN 1992-1-1; Artikel 7.3.2

Dit artikel stelt dat het vereiste minimumoppervlakte voor een rechthoekig profiel als volgt mag worden berekend.

$$A_{s,min} * \sigma_s = k_c * k * f_{ct,eff} * A_{ct} \quad (7.1)$$

Waarin:

$A_{s,min}$ staat voor de minimale oppervlakte van het betonstaal binnen de trekzone.

A_{ct} staat voor de oppervlakte van het beton binnen de trekzone.

σ_s staat voor de absolute waarde van de maximaal toelaatbare spanning in de wapening onmiddellijk na het scheuren.

$f_{ct,eff}$ staat voor de gemiddelde waarde van de treksterkte van het beton op het tijdstip waarop voor het eerst scheuren kunnen worden verwacht.

k staat voor een coëfficiënt die rekening houdt met het effect van niet-gelijkmatig eigenspanningen, die leiden tot een reductie van de krachten ten gevolge van verhinderde vervormingen; Bij lijven met $h \leq 300$ mm, wat in dit onderzoek het uitgangspunt is, mag k aangenomen worden voor 1,0.

k_c staat voor een coëfficiënt die rekening houdt met de spanningsverdeling binnen de doorsnede onmiddellijk voor het scheuren en met de verandering van de hefboomsarm; Voor buiging in rechthoekige doorsneden, wat in dit onderzoek het uitgangspunt is, geldt:
 $k_c = 0,4 * (1 - (\sigma_c / (k_1 * (h/h^*) * f_{ct,eff}))) \leq 1,0$ (7.2)

σ_c staat voor de gemiddelde betonspanning in het beschouwde deel van de doorsnede.

h^* staat voor de hoogte (h) met een maximum van 1,0m.

k_1 staat voor een coëfficiënt die rekening houdt met de effecten van normaalkrachten op de spanningsverdeling:

Als N_{Ed} een drukkracht is geldt $k_1 = 1,5$

Als N_{Ed} een trekkracht is geldt $k_1 = (2 * h^*) / (3 * h)$

Scheurvormingsbeheersing ten gevolge van scheurbeheersing zonder directe berekening staat omschreven in Eurocode 2; Artikel 7.3.3.

Dit artikel geeft de maximale staafdiameter en -afstand weer voor de optredende staalspanning en toelaatbare scheurwijdte. Deze waarden zijn gepresenteerd in de tabellen 12 en 13.

Tevens stelt dit artikel dat aan minimaal één van de twee maximalen voldaan moet worden om de situatie als correct te kunnen beschouwen.

De optredende staalspanning bij de frequente belastingscombinatie kan volgens het studieboek 'Constructieleer Gewapend Beton' (Braam & Langendijk, 2011) als volgt worden berekend.

$$\sigma_{s,freq} = (M_{freq}/M_{Ed}) * (A_{s,req}/A_{s,prov}) * f_{yd}$$

Waarin:

- $\sigma_{s,freq}$ staat voor de optredende staalspanning
- M_{freq} staat voor de rekenwaarde van het buigend moment in de bruikbaarheidsgrenstoestand.
- M_{Ed} staat voor de rekenwaarde van het buigend moment in de uiterste grenstoestand.
- $A_{s,req}$ staat voor het oppervlakte van de benodigde hoeveelheid wapeningsstaal.
- $A_{s,prov}$ staat voor het oppervlakte van de toegepaste hoeveelheid wapeningsstaal.
- f_{yd} staat voor de rekenwaarde waarde van de vloeigrens van betonstaal.

De optredende staalspanning ten gevolge van het scheurmoment kan als volgt worden berekend:

$$\sigma_{sr} = M_{cr} / (A_s * z)$$

Waarin:

- M_{cr} staat voor de rekenwaarde van het scheurmoment ten gevolge van verhinderde krimp.
- A_s staat voor het oppervlakte van het wapeningsstaal.
- z staat voor de inwendige hefboomsarm van de snedekrachten.

De maximale staafdiameter uit tabel 13 behoort als volgt te zijn aangepast voor op buiging belaste elementen:

$$\phi_s = \phi_s^* * (f_{ct,eff}/2,9) * (k_c * h_{cr}) / (2 * (h-d)) \quad (7.6N)$$

Waarin:

- ϕ_s staat voor de aangepaste maximumstaafdiameter.
- ϕ_s^* staat voor de maximumstaafdiameter gegeven in tabel 13.
- $f_{ct,eff}$ staat voor de gemiddelde waarde van de treksterkte van het beton.
- k_c staat voor een factor die afhangt van de belastingsduur;
 $k_c = 0,6$ voor kortdurende belasting;
 $k_c = 0,4$ voor langdurende belasting.
- h_{cr} staat voor de hoogte van de trekzone onmiddellijk vóór het scheuren.
- h staat voor de totale hoogte van de doorsnede.
- d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.

Staalspanning 2	Maximale staafdiameter (mm)		
(MPa)	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	—

Tabel 13; Maximale staafdiameters voor scheurbeheersing. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

Staalspanning 2	Maximale staafafstand (mm)		
(MPa)	$w_k = 0,4$ mm	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	—
360	100	50	—

Tabel 12; Maximale staafafstand voor scheurbeperking. (NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen, 2020)

Scheurvormingsbeheersing ten gevolge van het berekenen van scheurwijdtes staat omschreven in Eurocode 2; Artikel 7.3.4. Dit artikel stelt dat de scheurwijdte mag zijn berekend met de volgende vergelijking:

$$w_k = s_{r,max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \quad (7.8)$$

Waarin:

$s_{r,max}$ staat voor de maximale scheurafstand, en mag worden berekend indien de staafafstand $\leq 5 (c + \varnothing / 2)$ volgens:

$$s_{r,max} = (k_3 * c) + ((k_1 * k_2 * k_4 * \varnothing) / \rho_{p,eff}) \leq \text{de grootste waarde van } (50 - (0,8 * f_{ck})) * \varnothing \text{ en } 15 * \varnothing \quad (7.11)$$

waarin:

c staat voor de betondekking op de langswapening.

k_1 gelijk moet staan aan 0,8

k_2 gelijk moet staan aan 0,5

k_3 gelijk moet staan aan 3,4

k_4 gelijk moet staan aan 0,425

f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.

$\rho_{p,eff}$ gelijk moet staan aan $A_s / A_{ct,eff}$

A_s staat voor de oppervlakte van het wapeningsstaal.

$A_{ct,eff}$ staat voor de effectieve oppervlakte van het beton onder trek met hoogte $h_{c,ef}$ die de wapening omgeeft, waarin $h_{c,ef}$ de kleinste waarde is van $2,5 * (h-d)$, $(h-x)/3$ en $h/2$.

$$\text{indien de staafafstand} \geq 5 (c + \varnothing / 2) \text{ dan geldt } s_{r,max} = 1,3 * (h-x) \quad (7.14)$$

waarin:

h staat voor de hoogte van de doorsnede.

x staat voor de hoogte van de drukzone.

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} \text{ gelijk moet staan aan } (\sigma_s - (k_t * (f_{ct,eff} / p_{p,eff})) * (1 + (\alpha_e * p_{p,eff}))) / E_s \geq 0,6 * (\sigma_s / E_s) \quad (7.9)$$

waarin:

σ_s staat voor de spanning in de trekwapening, uitgaande van een gescheurde doorsnede.

k_t staat voor een factor die afhangt van de belastingsduur;

$k_t = 0,6$ voor kortdurende belasting;

$k_t = 0,4$ voor langdurende belasting.

$f_{ct,eff}$ staat voor de gemiddelde waarde van de treksterkte van het beton op het tijdstip waarop voor het eerst scheuren kunnen worden verwacht.

α_e staat voor de verhouding tussen E_s / E_{cm} .

E_s staat voor de elasticiteitsmodulus van wapeningsstaal.

E_{cm} staat voor de gemiddelde elasticiteitsmodulus van beton.

Alle drie manieren van scheurvormingsbeheersing zijn correct. Het is dus aan de ontwerper om een keuze te maken in de toe te passen manier.

Uitwendige belastingen

De scheurwijdte wordt getoetst met het frequente moment (M_{freq}) in de BGT optreedt.

Verhinderde krimp

De scheurwijdte wordt getoetst met het scheurmoment (M_{cr}) in de BGT optreedt.

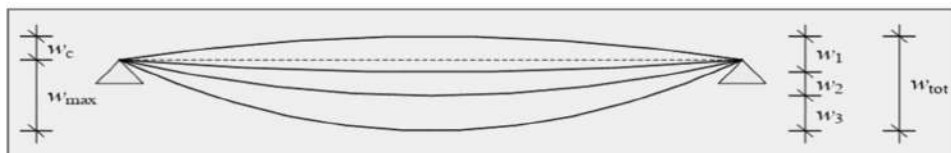
Vervorming

Zoals eerder vermeld, is vervorming ook een onderdeel van de bruikbaarheidsgrenstoestand. In de constructieleer valt dit onderwerp onder het aspect stijfheid. Bij verticaal belaste puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren is de enige vervorming die optreedt doorbuiging. Horizontale verplaatsing treedt hierbij niet op.

Een belast element vervormt. Het is noodzakelijk om deze vervorming te beperken om te blijven voldoen aan de bruikbaarheidscriteria. "De bruikbaarheidscriteria behoren voor elk project te zijn vastgesteld en overeengekomen met de opdrachtgever." (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019). Artikel A1.4.3 van de NEN-EN 1990 legt minimale eisen vast voor de vervormingen en horizontale verplaatsingen om het functioneren te waarborgen en schade aan de constructie, afwerkingen of niet-constructieve elementen te voorkomen. Deze eisen luiden als volgt:

- Bij vloeren die scheurgevoelige scheidingswanden dragen mag de som van de vervorming w_2 en w_3 bij de frequente belastingscombinatie niet groter zijn dan $1/500$ deel van l_{rep} met een maximum van 15mm.
- Bij overige vloeren en daken die intensief door personen worden gebruikt mag de som van de vervorming w_2 en w_3 bij de frequente belastingscombinatie niet groter zijn dan $3/1000$ deel van l_{rep} .
- Bij overige daken mag de som van de vervorming w_2 en w_3 bij de karakteristieke belastingscombinatie met afzonderlijk de gebruiksbelasting, windbelasting en sneeuwbelasting, als extreme veranderlijke belasting niet groter zijn dan $1/250$ deel van l_{rep} .
- Bij vloerafscheidingen ter plaatse van een hoogteverschil mag de som van de verticale vervorming w_2 en w_3 van de bovenrand of de bovenregel of indien aanwezig de onderregel niet groter zijn dan $1/150$ deel van l_{rep} .
- De w_{max} mag niet groter zijn dan $1/250$ deel van l_{rep} .

Voor de verklaring van de termen is verwezen naar figuur 28:



Verklaring

w_c	zeeg van het onbelaste constructief element;
w_1	aanvangsdeel van de doorbuiging onder de blijvende belastingen uit de van toepassing zijnde belastingscombinatie overeenkomstig de formules (6.14a) tot en met (6.16b) bepaald met de korte-duur eigenschappen;
w_2	bijkomend deel van de doorbuiging bij lange-duurgedrag, gelijk aan de doorbuiging bij de quasiblijvende belastingscombinatie formule 6.16a en 6.16b) bepaald met lange-duur eigenschappen verminderd met de doorbuiging bij de quasi-blijvende belastingscombinatie bepaald met korte-duur eigenschappen;
w_3	bijkomend deel van de doorbuiging bij korte-duurgedrag, gelijk aan de doorbuiging ten gevolge van de belastingen uit de van toepassing zijnde belastingscombinatie overeenkomstig de formules (6.14a) tot en met (6.16b) bepaald met de korte-duur eigenschappen verminderd met w_1 ;
w_{tot}	totale doorbuiging als de som van w_1 , w_2 en w_3 ;
w_{max}	maximale doorbuiging, rekening houdend met de zeeg, $w_{tot} - w_c$.

l_{rep} is de lengte van een overspanning of tweemaal de lengte van een uitkraging.

Figuur 28; Verticale doorbuiging en verklaring van de termen. (NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2019)

Het berekenen van de optredende vervorming van een puntvormige ondersteunde vlakke plaatvloer, kan bij volgens het studieboek 'Tabellen voor bouw- en waterbouwkundige' (Blok, 2018) met de volgende formule gedaan worden:

$$w = 1/384 * (q * l^4) / (EI)$$

Waarin:

- q staat voor de optredende lijnlast.
l staat voor de lengte van de overspanning.
EI staat voor de stijfheid van het beschouwde element.

Bij toepassing van de lineaire-elastische theorie is het toegestaan om de vervorming te berekenen volgens het voorschrift 'GTB-2013' (Sagel, Braam, & Lagendijk, september 2013) met behulp van de volgende formule:

$$w = 0,001 * ((q_d * l_x^2)/(EI)) * \text{coëfficiënt}$$

Waarin:

- q_d staat voor de rekenwaarde van de optredende lijnlast.
 l_x staat voor de lengte van de overspanning van de korte zijde.
EI staat voor de stijfheid van het beschouwde element.
coëfficiënt de coëfficiënt is die opgehaald dient te worden uit GTB-tabellen voor de doorbuiging van de plaat.

De stijfheid van het beschouwde element is te achterhalen met behulp van een M- κ -diagram. "In CB2 hoofdstuk 5, wordt getoond hoe de buigstijfheid van gewapende betonconstructies wordt uitgedrukt met behulp van moment-kromming-(M- κ -)diagrammen." (Braam, 2012)

Om te controleren of de situatie voldoet aan de bruikbaarheidscriteria dienen w_1 , w_2 en w_3 , berekend te worden.

Bij het berekenen van w_1 en w_3 moet voor 'q' waarde van de belasting uit de frequente combinatie aangehouden worden. Voor w_2 moet voor 'q' de quasi-blijvende combinatie van de veranderlijke belasting aangehouden worden. Het verschil tussen w_1 , w_2 en w_3 is veroorzaakt door respectievelijke de vervorming ten gevolge van de permanente belasting, het lange-duurgedrag en het korte-duurgedrag.

Zodra deze gegevens bekend zijn, kan worden gecontroleerd of de bijkomende doorbuiging en de einddoorbuiging ($w_{\max}$) aan de gestelde eisen voldoen. Voor de bijkomende doorbuiging moet de som van w_2 en w_3 kleiner zijn dan de hierboven gestelde eisen. Voor de einddoorbuiging moet de som van w_1 , w_2 en w_3 kleiner zijn dan de hierboven gestelde eisen.

Een vereenvoudigde methode om doorbuiging te controleren, is het controleren van de slankheid. Het studieboek 'Ontwerpen in gewapend beton' (Braam, 2012) bevat een tabel met benaderingsformules voor de slankheid, zoals weergegeven in tabel 14.

veld	$l_{eff} < 7 \text{ m}$	$l_{eff} > 7 \text{ m}$
rand- of hoekveld	$l_{eff}/d = 28$	$l_{eff}/d = 195/l_{eff}$
middenveld	$l_{eff}/d = 31$	$l_{eff}/d = 215/l_{eff}$

Tabel 14; Benaderingsformules voor de slankheid van puntvormig ondersteunde vloeren (vlakke plaatvloeren). (Braam, 2012)

Om te controleren of de slankheid van het ontworpen element voldoet aan de waarden uit tabel 14 is het cruciaal om de slankheid van het ontworpen element te berekenen. Deze berekening van de slankheid kan worden uitgevoerd volgens de volgende formule:

$$\lambda = l_{eff} / d$$

Waarin:

l_{eff} staat voor de effectieve lengte van de overspanning.

d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.

Indien de berekende waarde uit de bovengenoemde berekening lager is dan de waarde uit tabel 14, kan worden geconcludeerd dat de doorbuiging voldoet.

Door het controleren van alle bovengenoemde onderwerpen en het ontwerp daar mogelijk op aan te passen, is een ontwerp voor een betonvloer op palen te realiseren die in de bruikbaarheidsgrenstoestand op alle aspecten voldoet aan de vigerende regelgeving.

6.1.5.2 Toetsing UGT (Traditionele doorsnede)

Buigend moment

Ten gevolge van de optredende buigende momenten, die voortkomen uit de berekeningen van de interne krachtwerking, ontstaat trek in de doorsnede. Om de optredende trek op te kunnen nemen moet de vloer gewapend worden. De trekcapaciteit van beton is te laag om de trek (in de doorsnede) op te nemen. De hoeveelheid wapeningsstaal dat toegepast dient te worden om de optredende trek in de uiterste grenstoestand op te nemen kan volgens het studieboek 'Constructieel Gewapend Beton' (Braam & Langendijk, 2011) als volgt berekend worden.

$$A_{s, req} = (\alpha * b * x * f_{cd}) / f_{yd}$$

Waarin:

- α staat voor een factor voor de oppervlakte van de betondrukzone.
- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
- f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.
- f_{yd} staat voor de rekenwaarde waarde van de vloeigrens van betonstaal.
- X staat voor de hoogte van de drukzone en gelijk moet staan aan:
 $(d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd})))} / (2 * \beta)$
- d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede en gelijk moet staan aan: $h - c - \frac{1}{2} * \emptyset$
- h staat voor hoogte van de doorsnede.
- c staat voor de dekking op de langswapening.
- β staat voor een factor voor het zwaartepunt van de betondrukzone.
- M_{Ed} staat voor het optredende moment in de UGT.

Tevens dient de wapening gecontroleerd te worden op minimum- en maximumwapening. Artikel 9.2.1.1 van de NEN-EN 1992-1-1 stelt dat voor de minimumwapening aangehouden moet worden dat:

$$A_{s, min} = 0,26 * (f_{ctm}/f_y) * b * d \quad (9.1N)$$

Waarin:

- f_{ctm} staat voor de gemiddelde axiale treksterkte van beton.
- f_y staat voor de karakteristieke waarde van de vloeigrens van betonstaal.
- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
- d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.

Voor de maximumwapening moet aangehouden worden dat:

$$A_{s, max} = 0,04 * A_c$$

Waarin:

- A_c staat voor de oppervlakte van het beton.

Pons

Verder moet gecontroleerd worden of pons niet optreedt. Ten gevolge van de optredende belasting is pons ook een mogelijk bezwijk mechanisme van een puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloer. De term pons houdt in dat de funderingspaal als het ware door de plaat heen 'drukt'.

Bij het uitvoeren van de controle dienen de volgende stellingen gecontroleerd te worden:

- a) Ter plaatste van de paalomtrek behoort de maximale schuifspanning bij pons niet te zijn overschreden:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

- b) Ponswapening is niet nodig indien:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

- c) Indien v_{Ed} groter is dan de waarde v_{Rd} voor de beschouwde controledoorsnede, behoort ponswapening te zijn toegepast volgens artikel 6.4.5 van de NEN-EN 1992-1-1

De rekenwaarde van de optredende ponsspanning ten gevolge van de optredende belastingen is te bepalen volgens artikel 6.4.3, lid 3 van de NEN-EN 1992-1-1.

Dit artikel stelt dat voor centrisch belaste situaties de optredende ponsspanning als volgt mag worden berekend.

$$v_{Ed} = V_{Ed} / (u_i * d_{eff}) \quad (6.38)$$

Waarin:

V_{Ed} staat voor de optredende ponskracht.

u_i staat voor de lengte van de beschouwde controle omtrek.

d_{eff} staat voor de gemiddelde effectieve hoogte van de doorsnede, waarvoor $(d_y + d_z)/2$ mag zijn genomen en waarbij:

d_y, d_z staat voor de effectieve hoogte in de y- en z-richting van de controledoorsnede.

De rekenwaarde van de maximumponsweerstand langs de beschouwde controledoorsnede mag volgens de volgende berekening uit artikel 6.4.5, lid 3. berekend worden:

$$V_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd} \quad (6.53)$$

Waarin:

v gelijk moet staan aan $0,6 * 1 - f_{ck}/250$ (6.6N)

f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.

f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.

De rekenwaarde van de ponsweerstand van het beton zonder mogelijke ponswapening langs de beschouwde controledoorsnede mag volgens de volgende berekening uit artikel 6.4.4, lid 1. berekend worden:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad (6.47)$$

Waarin:

- $C_{Rd,c}$ gelijk moet staan aan $0,18/\gamma_c$
 f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.
 k gelijk moet staan aan $1 + \sqrt{200/d_{eff}} \leq 2,0$
 ρ_1 gelijk moet staan aan $\sqrt{\rho_{ly} * \rho_{lz}} \leq 0,02$

De formule om de toe te passen ponswapening te berekenen is te herleiden uit artikel 6.4.5 van de NEN-EN 1992-1-1 en levert de volgende formule.

$$A_{sw} = s_r * ((v_{Rd,s,req} * u_i) / (1,5 * f_{y,ef})) \quad (6.52)$$

Waarin:

- s_r staat voor de radiale afstand tussen de perimeters van de ponswapening.
 $v_{Rd,s,req}$ staat voor de rekenwaarde van de benodigde ponsweerstand van de ponswapening en bepaald dient te worden volgens $v_{Rd,s,req} = V_{Ed} - 0,75 * v_{Rd}$
 u_i staat voor de lengte van de beschouwde controle omtrek.
 $f_{y,ef}$ gelijk moet staan aan $250 + 0,25 * d \leq f_y$
 d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.
 f_y staat voor de karakteristieke waarde van de vloeigrens van betonstaal.

Aan de toe te passen ponswapening zit volgens hetzelfde artikel een maximum. De maximale capaciteit van de toe te passen ponswapening moet kleiner zijn dan de grootste waarde van $v_{Rd,max}$ en $1,6 * v_{Rd,c}$.

Een cruciaal onderdeel van de toe te passen ponswapening zijn de posities van de wapening. Te veel ponswapening toepassen resulteert in inefficiënties en te weinig wapening resulteert in het mogelijk bezwijken van het element. Het onderzoeken waar die optimale grens ligt is dus van belang. Het studieboek 'Constructieel gewapend beton' (Braam & Langendijk, 2011) stelt net als artikel 6.4.5. van de NEN-EN 1992-1-1 dat de controle-omtrek waarvoor geen ponswapening vereist is (u_{out}) met behulp van de volgende formule berekend mag worden:

$$u_{out} = V_{Ed} / (v_{Rd} * d_{eff}) \quad (6.54)$$

Waarin:

- V_{Ed} staat voor de optredende ponskracht.
 V_{Rd} staat voor de ponsweerstand.
 d_{eff} staat voor de gemiddelde effectieve hoogte van de doorsnede.

Om de afstand van de laatste perimeter ponswapening (x_{out}) tot de zijvlakken van de paal te berekenen dient volgens het studieboek 'Constructieel gewapend beton' (Braam & Langendijk, 2011) de volgende formule te worden toegepast:

In het geval van vierkante funderingspalen:

$$x_{out} = (u_{out} - 2 * (c_1 + c_2)) / 2 * \pi$$

Bij ronde funderingspalen geldt de formule:

$$x_{out} = (u_{out} - (\pi * c)) / 2 * \pi$$

Waarin:

- u_{out} staat voor de controle-omtrek waarvoor geen ponswapening vereist is.
 $c_1 ; c_2$ staat voor de afmeting van de rechthoekige funderingspaal.
 c staat voor de diameter van de ronde funderingspaal.

Ook stelt dit boek, net als artikel 6.4.5. van de NEN-EN 1992-1-1, dat de laatste perimeter ponswapening 1,5d voor deze toetsingsperimeter mag zijn aangebracht.

Dwarskracht

Naast het buigende moment en pons kan de plaat natuurlijk ook aan de normaal optredende dwarskracht in de vloer bezwijken. Dit wordt in het advies niet meegenomen, maar aangezien het wel degelijk een bestaande mogelijkheid is wordt hij wel omschreven. De berekening van de doorsnedecapaciteit moet volgens lid 2 van artikel 6.2.1 uit de NEN-1992-1-1 als volgt worden uitgevoerd.

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} \quad (6.1)$$

&

$$V_{Rd} = V_{Rd,c}$$

Waarin:

- V_{Rd} staat voor de dwarskrachtweerstand.
- $V_{Rd,s}$ staat voor de rekenwaarde van de dwarskrachtweerstand van de dwarskrachtwapening.
- V_{ccd} staat voor de rekenwaarde van de dwarskrachtcomponent van de kracht in het drukgebied, in het geval van een verlopende hoogte op druk.
- V_{td} staat voor de rekenwaarde van de dwarskrachtcomponent van de kracht in de trekwapening, in het geval van een verlopende hoogte op trek.
- $V_{Rd,c}$ staat voor de rekenwaarde van de dwarskrachtweerstand van een element zonder dwarskrachtwapening.

Naast het geven van de berekening voor de doorsnedecapaciteit stelt dit artikel ook nog verschillende voorwaarden. Lid 3 bijvoorbeeld stelt dat als $v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$ geen berekende dwarskrachtwapening nodig is. Waarbij $v_{Rd,c}$ hetzelfde betekent als hierboven omschreven en voor v_{Ed} geldt dat het de rekenwaarde van de dwarskracht in de beschouwde doorsnede ten gevolge van uitwendige belasting is.

Verder stelt lid 6 dat de som van de rekenwaarden van de dwarskracht op geen enkele plaats de toelaatbare maximumwaarde $v_{Rd,max}$ mag overschrijven.

Artikel 6.2.2 geeft de formule waarmee de dwarskrachtweerstand van een element zonder dwarskrachtwapening ($v_{Rd,c}$) berekend mag worden en deze luidt als volgt:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} * k * (100 * \rho * f_{ck})^{1/3} \quad (6.2.a)$$

met een minimum van

$$v_{Rd,c} = v_{min} = 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad (6.2.b)$$

Waarin:

- $C_{Rd,c}$ gelijk moet staan aan $0,18 / \gamma_c$
- γ_c staat voor de materiaalfactor van beton
- k gelijk moet staan aan $1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$

- d staat voor de effectieve hoogte van de beschouwde doorsnede.
 p gelijk moet staan aan $A_{sl} / b \cdot d \leq 0,02$
 A_{sl} staat voor de oppervlakte van de langswapening in de beschouwde doorsnede.
 b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
 f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.

Tevens is in lid 6 van dit artikel vermeldt dat de dwarskracht (V_{Ed}) altijd dient te voldoen aan de voorwaarde:

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot b \cdot d \cdot v \cdot f_{cd} \quad (6.5)$$

Waarin:

- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
 d staat voor de effectieve hoogte van de beschouwde doorsnede.
 f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.
 f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.
 v gelijk moet staan aan $0,6 \cdot 1 - f_{ck}/250$ (6.6N)

Artikel 6.2.3 geeft de formules waarmee de dwarskrachtweerstand voor elementen met verticale dwarskrachtwapening $v_{Rd,s}$ en de maximale dwarskrachtweerstand $v_{Rd,max}$ berekend mag worden.

Voor de dwarskrachtweerstand voor elementen met verticale dwarskrachtwapening geldt dat:

$$v_{Rd,s} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (6.8)$$

Waarin:

- A_{sw} staat voor de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de dwarskrachtwapening.
 s staat voor de hart-op-hartafstand van de dwarskrachtwapening.
 z staat voor de inwendige hefboomsarm en in de dwarskrachtsberekening van gewapend beton zonder normaalkracht mag in het algemeen de benaderende waarde $z = 0,9d$ zijn gebruikt.
 f_{ywd} staat voor de rekenwaarde van de vloeigrens van de dwarskrachtwapening. Indien vergelijking (6.10) is gebruikt behoort de waarde van f_{ywd} in vergelijking (6.8) te zijn verminderd tot $0,8 \cdot f_{ywk}$
 f_{ywk} staat voor de karakteristieke waarde van de vloeigrens van de dwarskrachtwapening.
 $\cot \theta$ staat voor de hoek tussen de drukdiagonaal van beton en de as van het element loodrecht op de dwarskracht. Met de grenswaarden van $1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$ (6.7N)

Voor de maximale dwarskrachtweerstand $v_{Rd,max}$ geldt:

$$v_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (6.9)$$

Waarin:

- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.

- z staat voor de inwendige hefboomsarm en in de dwarskrachtsberekening van gewapend beton zonder normaalkracht mag in het algemeen de benaderende waarde $z = 0,9d$ zijn gebruikt.
- f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.
- $\cot \theta$ staat voor de hoek tussen de drukdiagonaal van beton en de as van het element loodrecht op de dwarskracht. Met de grenswaarden van $1,0 \leq \cot \theta \leq 2,5$
- v_1 staat voor een sterktereductiefactor voor beton gescheurd door dwarskracht.
- α_{cw} staat voor een factor waarmee de spanning in de op druk belaste rand rekening is gehouden.

De waarde van v_1 moet gelijk zijn genomen aan v .

Indien de spanning in de dwarskrachtwapening in de berekening kleiner is dan 80% van de karakteristieke vloergrens f_{yk} , mag voor v_1 zijn aangehouden:

$$- v_1 = 0,6 \quad \text{voor } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa.} \quad (6.10.aN)$$

$$- v_1 = 0,9 - f_{ck}/200 > 0,5 \quad \text{voor } f_{ck} \geq 60 \text{ MPa.} \quad (6.10.bN)$$

f_{ck} staat voor de karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen.

De waarde van α_{cw} moet gelijk zijn genomen aan:

$$- \alpha_{cw} = 1 \quad \text{voor niet-voorgespannen constructies.}$$

$$- \alpha_{cw} = (1 + \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{voor } 0 < \sigma_{cp} \leq 0,25 * f_{cd} \quad (6.11.aN)$$

$$- \alpha_{cw} = 1,25 \quad \text{voor } 0,25 * f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0,50 * f_{cd} \quad (6.11.bN)$$

$$- \alpha_{cw} = 2,5 * (1 + \sigma_{cp} / f_{cd}) \quad \text{voor } 0,50 * f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 1,00 * f_{cd} \quad (6.11.cN)$$

f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.

σ_{cp} staat voor de gemiddelde betondrukspanning ten gevolge van de rekenwaarde van de normaalkracht.

Wringing

Artikel 6.3.2 van Eurocode 2 biedt de mogelijkheid om de schuifspanning, schuifkracht en de vereiste oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de langswapening ten gevolge van wringing te berekenen.

De schuifspanning in een wand van een doorsnede onderworpen aan zuivere wringing mag worden berekend uit:

$$\tau_t * t_{ef} = T_{Ed} / (2 * A_k) \quad (6.26)$$

En de schuifkracht V_{Ed} in een wand ten gevolge van wringing is gegeven door:

$$V_{Ed} = \tau_t * t_{ef} * z \quad (6.27)$$

Waarin:

T_{Ed} staat voor de rekenwaarde van het optredend wringend moment.

A_k staat voor de oppervlakte van het gebied omsloten door de hartlijnen van de verbonden wanden.

τ_t staat voor de schuifspanning door wringing in de wand.

t_{ef}	staat voor de effectieve wanddikte. Deze mag worden gelijk genomen aan A/u , maar behoort niet kleiner te zijn dan tweemaal de afstand tussen de rand en de as van de langswapening.
A	staat voor de totale oppervlakte van de dwarsdoorsnede binnen de buitenomtrek.
u	staat voor de buitenomtrek van de doorsnede.
V_{Ed}	staat voor de rekenwaarde van de schuifkracht.
z	staat voor de lengte van de wand gedefinieerd als de afstand tussen de snijpunten met de aangrenzende wanden.

De vereiste oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de langswapening voor wringing mag zijn berekend met vergelijking (6.28):

$$(A_{sl} * f_{yd}) / u_k = (T_{Ed} / (2 * A_k)) * \cot \theta \quad (6.28)$$

Waarin:

A_{sl}	staat voor de oppervlakte van de langswapening.
f_{yd}	staat voor de rekenwaarde waarde van de vloeigrens van betonstaal.
u_k	staat voor de omtrek van het gebied A_k .
θ	staat voor de hoek van de drukdiagonalen.

De langswapening mag worden verminderd in verhouding tot de beschikbare drukkracht in de op druk belaste randen. In de randen die op trek belast zijn, dient de langswapening voor wringing te zijn opgeteld bij de overige wapening die aanwezig is. In kleinere doorsneden mag de langswapening geconcentreerd zijn aan de einden van deze zijde, maar over het algemeen dient deze wapening te zijn verdeeld over de lengte 'z'.

De maximale weerstand van een op wringing en afschuiving belast element is begrensd door de capaciteit van de betondrukdiagonalen. Om deze weerstand niet te overschrijden, behoort aan de volgende voorwaarde te zijn voldaan:

$$T_{Ed} / T_{Rd,max} + V_{Ed} / V_{Rd,max} \leq 1,0 \quad (6.29)$$

Waarin:

T_{Ed}	staat voor de rekenwaarde van het aangrijpend wringend moment.
V_{Ed}	staat voor de rekenwaarde van de aangrijpende dwarskracht.
$T_{Rd,max}$	staat voor de rekenwaarde van de wringweerstand volgens formule 6.30.
$V_{Rd,max}$	staat voor de rekenwaarde van de maximale dwarskrachtweerstand volgens formule 6.9.

$$T_{Rd,max} = 2 * v * \alpha_{cw} * f_{cd} * A_k * t_{ef} * \sin \theta * \cos \theta \quad (6.30)$$

waarin:

v	volgt uit formule 6.6.
α_{cw}	volgt uit formule 6.9.
f_{cd}	staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van beton.

- A_k staat voor de oppervlakte van het gebied omsloten door de hartlijnen van de verbonden wanden.
- t_e staat voor de effectieve wanddikte. Deze mag worden gelijk genomen aan A/u , maar behoort niet kleiner te zijn dan tweemaal de afstand tussen de rand en de as van de langswapening.
- A staat voor de totale oppervlakte van de dwarsdoorsnede binnen de buitenomtrek.
- u staat voor de buitenomtrek van de doorsnede.
- θ staat voor de hoek van de drukdiagonalen.

Voor rechthoekige doorsneden is minimale wapening vereist, als:

$$T_{Ed} / T_{Rd,c} + V_{Ed} / V_{Rd,c} \leq 1,0 \quad (6.31)$$

Waarin:

- $T_{Rd,c}$ staat voor het scheurmoment door wringing, dat mag zijn bepaald door te stellen $\tau_t = f_{ctd}$
- $V_{Rd,c}$ staat voor de dwarskrachtweerstand volgens formule 6.2.

6.1.5.3 Toetsing BGT (Hybride doorsnede)

Ondanks dat de doorsnede anders is opgebouwd, blijven de toetsingen hetzelfde. Ook dit type doorsnede moet in de BGT en UGT getoetst worden.

Scheurwijdte

Het controleren van de scheurvorming in doorsnedes met wapeningsstaal en staalvezels wordt degelijk anders uitgevoerd ten opzichte van alleen traditioneel gewapende doorsnedes. Cruciaal is dat bij het controleren van de scheurvorming van hybride doorsnedes, de in artikel 7.4 van CUR-Aanbeveling 111 besproken, krimpbelasting wordt meegenomen in een berekening waarin de scheurvorming wordt gecontroleerd aan de scheurwijdte-eis.

De scheurvorming boven het steunpunt blijkt in de praktijk het grootste probleem te zijn bij puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren. De maximale scheurwijdte komt, net als bij traditioneel gewapende vloeren, voort uit tabel 7.1N van de NEN-EN 1992-1-1. In overeenstemming met de opdrachtgever kan eventueel een andere eis worden afgesproken. Daarnaast kunnen in verband met vloeistofdichtheid ook strengere eisen worden gesteld.

Verskillende scheurwijdte-eisen bestaan ten behoeve van scheurvormingsbeheersing. Eén van deze mogelijk strengere eisen is dat geen scheurvorming is toegestaan. Artikel 8.5.2 van CUR-Aanbeveling 111 stelt dat in dat geval de rekenwaarde van de optredende buigtrekspanning in het staalvezelbeton niet groter mag zijn dan de representatieve waarde van de langeduur-buigtreksterkte waarbij scheurvorming optreedt ($f_{frep,1}$). De trekspanning in de doorsnede blijft dan zo laag dat deze nooit tot scheuren leidt.

$f_{frep,1}$ mag volgens artikel 6.2.1 uit dezelfde aanbeveling aangenomen worden als f_{ftm} . Voor f_{ftm} mag indien alleen drukproeven zijn uitgevoerd, conform NEN-EN 12390-3, en geen driepuntbuigproeven, conform NEN-EN 14651, en de sterkteklasse $\leq C53/65$ dan mag voor $f_{fck,cyl} = 0,85 * f_{fck,cube}$.

$$f_{frep,1} = f_{ftm} = 0,3 * (f_{fck,cyl})^{2/3} \quad (8)$$

Deze aanpak mag alleen worden gevolgd als scheurvorming door een combinatie van uitwendige belasting en opgelegde vervorming is uitgesloten.

Verder bestaat ook de mogelijkheid scheurvorming toegestaan is. Daarvoor is in artikel 8.5.3 van CUR-Aanbeveling 111 aangegeven hoe w_{max} berekend mag worden. Dit artikel stelt dat:

$$w_{max} = 2 * (h - h_x) * \epsilon_{ft,max} \quad (22)$$

Waarin:

- h staat voor de hoogte van de doorsnede.
- h_x staat voor de hoogte van de betondrukzone.
- $\epsilon_{ft,max}$ staat voor de rek in de uiterste vezel van de trekzone.

Indien de scheurwijdte bepaald wordt door middel van een berekening dient ook gecontroleerd te worden of het optredende moment in de BGT kan worden opgenomen. Bijlage A van dezelfde aanbeveling geeft dat het opneembare moment in de BGT (M_{wmax}), ten gevolge van de scheurwijdte-eis, bepaald kan worden op basis van de volgende formule.

$$M_{wmax} = (2/3 * h_x * N_1) + (1/2 * (h - h_x) * T_{2,1}) + (1/3 * (h - h_x) * T_{2,2}) + ((d - h_x) * T_1)$$

Waarin:

- N_1 gelijk moet staan aan $0,5 * h_x * b * f_{crep} * (\epsilon_{ft,max} / 0,0021) * (h_x / (h - h_x))$
 T_1 gelijk moet staan aan $A_s * E_s * ((d - h_x) / (h - h_x)) * \epsilon_{ft,max}$
 $T_{2,1}$ gelijk moet staan aan $b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2} - ((\epsilon_{ft,max} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3})))$
 $T_{2,2}$ gelijk moet staan aan $1/2 * b * (h - h_x) * ((\epsilon_{ft,max} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$
 h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.
 d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.
 h_x staat voor de hoogte van de betondrukzone.
 b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
 f_{crep} staat voor de representatieve betondruksterkte; en moet gelijk staan aan $0,72 * f_{ck,cube}$ (2)
 A_s staat voor de oppervlakte van het wapeningsstaal.
 E_s staat voor de elasticiteitsmodulus van staal.
 $f_{ftrep,2}$ gelijk moet staan aan $0,45 * f_{eqm,1}$ (9)
 $f_{eqm,1}$ staat voor de testwaarde bij 0,5mm rek.
 $f_{ftrep,3}$ gelijk moet staan aan $0,37 * f_{eqm,4}$ (10)
 $f_{eqm,4}$ staat voor de testwaarde bij 3,5mm rek.
 $\epsilon_{ft,max}$ staat voor de maximale rek in de vezels; en moet gelijk staan aan $(25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} / (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$

Voor horizontaal evenwicht in de doorsnede moet gelden:

$$\sum H = 0 \rightarrow N_1 = T_1 + T_{2,1} + T_{2,2}$$

Daarnaast moet ook gecontroleerd worden of door het aandeel van krimp de capaciteit van de doorsnede niet overschreden wordt. Dit kan met de volgende formule:

$$(((M_{rep} + M_{krimp}) / M_{wmax}) + (N_{krimp} / (b * h * f_{ftrep,1}))) \leq 1 \quad (23)$$

Waarin:

- M_{rep} staat voor het representatieve moment ten gevolge van de optredende belastingen in de bruikbaarheidsgrenstoestand.
 M_{krimp} staat voor het moment ten gevolge van de krimpbelasting.
 M_{wmax} staat voor het moment waarmee aan de scheurwijdte-eis wordt voldaan.
 N_{krimp} staat voor de normaalkracht ten gevolge van de krimpbelasting.
 b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
 h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.
 $f_{ftrep,1}$ gelijk moet staan aan f_{ftm} .

Uitwendige belastingen

De scheurwijdte wordt getoetst met het frequente moment (M_{freq}) in de BGT optreedt.

Verhinderde krimp

De scheurwijdte wordt getoetst met het scheurmoment (M_{cr}) in de BGT optreedt.

Vervorming

Tot slot dient in de BGT ook bij hybride doorsneden de vervorming getoetst te worden. Ondanks het type doorsnede, vervormt een belast element. Bij hybride doorsneden treedt, net als bij de traditioneel gewapende doorsneden, horizontale verplaatsing niet op bij verticaal belaste puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren. De gestelde eisen, zoals bij de BGT toetsing van traditionele doorsneden omschreven is, rondom de vervorming zijn bij dit type doorsnede hetzelfde als bij traditioneel gewapende doorsneden.

Ook hierbij bestaan verschillende methoden om vervorming te controleren. Net als bij de traditioneel gewapende doorsneden kan de optredende vervorming ook bij dit type doorsnede worden berekend. De omschrijving van de berekening van de vervorming, zoals bij de BGT toetsing van traditionele doorsneden omschreven is, mag ook bij deze toetsing toegepast worden. Vervormingscontrole op basis van slankheidseisen mag ook bij dit type toegepast worden. De aanpak van deze controlemethode is, net als het berekenen van de vervorming, ook omschreven bij de BGT toetsing.

Door alle bovengenoemde aspecten te controleren en het ontwerp daar mogelijk op aan te passen, is een ontwerp voor een betonvloer op palen met een hybride doorsnede te realiseren die in de bruikbaarheidsgrenstoestand op alle aspecten voldoet aan de vigerende regelgeving.

6.1.5.4 Toetsing UGT (Hybride doorsnede)

Buigend moment

De capaciteit van hybride doorsnedes, staalvezelversterktbeton met betonstaal, van op buiging belaste elementen in de uiterste grenstoestand mag volgens artikel 8.1 uit de CUR-111 als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = \left(\frac{11}{18} * h_{xu} * N_1 \right) + \left(\frac{1}{2} * (h - h_{xu}) * T_{2.1} \right) + \left(\frac{1}{3} * (h - h_{xu}) * T_{2.2} \right) + ((d - h_{xu}) * T_1)$$

Waarin:

- N_1 gelijk moet staan aan $0,75 * h_{xu} * b * f_{cd}$
- T_1 gelijk moet staan aan $A_s * E_s * ((d - h_{xu}) / h_{xu}) * (3,5 * 10^{-3}) \leq A_s * f_{yd}$
- $T_{2.1}$ gelijk moet staan aan $b * (h - h_{xu}) * (f_{ftd,2} - ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3})))$
- $T_{2.2}$ gelijk moet staan aan $\frac{1}{2} * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$
- h staat voor de hoogte van de doorsnede.
- d staat voor de effectieve hoogte van de doorsnede.
- h_{xu} staat voor de hoogte van de betondrukzone.
- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
- f_{cd} staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van staalvezelbeton.
- A_s staat voor de oppervlakte van het wapeningsstaal.
- E_s staat voor de elasticiteitsmodulus van betonstaal.
- f_{yd} staat voor de rekenwaarde waarde van de vloeigrens van betonstaal.
- $f_{ftd,2}$ gelijk moet staan aan $0,45 * (f_{eqm,1} / \gamma_{ft})$ (9)
- $f_{eqm,1}$ staat voor de testwaarde bij 0,5mm rek.
- $f_{ftd,3}$ gelijk moet staan aan $0,37 * (f_{eqm,4} / \gamma_{ft})$ (10)
- $f_{eqm,4}$ staat voor de testwaarde bij 3,5mm rek.
- γ_{ft} gelijk moet staan aan 1,25 in het geval van een constructie bestaande uit doorgaande vloervelden en staalvezelbeton met voldoende vervormingscapaciteit; aan het laatste is voldaan als $f_{ftk,3} / f_{ftk,1} \geq 0,5$. In alle overige gevallen geldt 1,5.
- ϵ_{ft} staat voor de rek in de vezels.

Voor horizontaal evenwicht in de doorsnede moet gelden:

$$\sum H = 0 \rightarrow N_1 = T_1 + T_{2.1} + T_{2.2}$$

Om de hoeveelheid toe te passen vezels en wapeningsstaal te berekenen dient als uitgangspunt gesteld te worden dat $M_{Rd} \geq M_{Ed}$. De waarden die voor $f_{ftd,2}$, $f_{ftd,3}$ en A_s zijn aangenomen, om de voorgaande stelling als waar te beschouwen, zijn de waarden van de minimaal benodigde capaciteit van de vezels en het vereiste oppervlakte wapeningsstaal. Aan de hand van deze capaciteit en vereiste oppervlakte dient het vezeltype, dosering en wapeningsstaal gekozen te worden die minimaal die capaciteit kunnen leveren.

Pons

Naast de hierboven omschreven momentcapaciteit is de dwarskrachtcapaciteit in de vorm van ponsweerstand ook een cruciaal onderdeel van de UGT-controle van diverse doorsneden. De berekening van de ponsweerstand, zoals bij de UGT-controle van traditionele doorsneden is omschreven, is vrijwel identiek aan de ponsweerstand van hybride doorsneden.

Indien staalvezels aan het beton zijn toegevoegd, mag de ponsweerstand van de doorsnede worden verhoogd met een bijdrage van de staalvezels. Deze bijdrage is $v_{f,d} = 0,18 * f_{eqk,3} / 1,4 * \gamma_{ft}$. (CUR-Aanbeveling 111:2018 , 2019). De totale ponsweerstand wordt vervolgens berekend als: $v_{Rd} = v_{Rd,c} + v_{f,d}$.

Dwarskracht

Net als bij traditioneel gewapende doorsneden kan naast het buigende moment en pons de plaat natuurlijk ook door de optredende dwarskracht in de vloer bezwijken. Dit wordt in het advies niet meegenomen, maar aangezien het wel degelijk een bestaande mogelijkheid is wordt hij wel omschreven. Hoofdstuk 8.2 van CUR-Aanbeveling 111 stelt dat de rekenwaarde van de optredende schuifspanning in elke doorsnede vanaf de dag van de oplegging als volgt moet worden bepaald:

$$v_{Ed} = v_{Ed} / (b * 0,9 * h) \quad (17)$$

Waarin:

v_{Ed} staat voor de rekenwaarde van de dwarskracht in de beschouwde doorsnede.
 b staat voor de breedte van de doorsnede
 h staat voor de hoogte van de doorsnede.

De rekenwaarde van de optredende schuifspanning moet verder ook voldoen aan de volgende stelling.

$$v_{Ed} \leq v_{min} \quad (18)$$

Waarin:

v_{min} gelijk moet staan aan $0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$.

Indien voldoende wapeningsstaal in de doorsnede is toegepast mag de uiterste opneembare schuifspanning worden verhoogd met een schuifspanningscomponent door de staalvezels welke gelijk staat aan:

$$v_{Rfd} = k_h * v_{f,d} \quad (19)$$

Waarin:

k_h gelijk moet staan aan $1,6 - h \geq 1$
 h staat voor de dikte van de vloer in meters.

- $v_{f,d}$ gelijk moet staan aan $0,18 * f_{eqk,3} / 1,4 * \gamma_{ft}$
 $f_{eqk,3}$ staat voor de karakteristieke ondergrens equivalente buigtreksterkte staalvezelversterktbeton bij 2,17 mm doorbuiging of een scheurwijdte van 2,5 mm.
 γ_{ft} staat voor de materiaalfactor van staalvezelversterktbeton.

Voldoende wapeningsstaal is aanwezig als de minimale wapeningspercentage zoals bij de UGT-toets van traditioneel gewapende doorsneden omschreven is toegepast wordt.

Wringing

Voor staalvezel versterkte doorsneden zijn geen afwijkende toetsingsmethoden rondom wringing beschikbaar. Vandaar dat de regelgeving zoals omschreven bij de UGT-toets van traditioneel gewapende doorsnede gehanteerd moet worden.

6.1.5.5 Toetsing BGT (Staalvezel versterkte betondoorsnede)

Scheurwijdte

Het controleren van de scheurvorming in doorsnedes met alleen staalvezels gaat bijna identiek aan de controle van de scheurvorming in hybride doorsnedes. Het enige verschil is dat de term voor het aandeel van wapeningsstaal komt te vervallen. Verder blijft het cruciaal dat bij het controleren van de doorsnede, de in artikel 7.4 van CUR-Aanbeveling 111 besproken, krimpbelasting wordt meegenomen in een berekening waarin de scheurvorming wordt gecontroleerd aan de scheurwijdte-eis.

De scheurvorming boven het steunpunt blijft ook bij betonvloeren met alleen staalvezels in de praktijk het grootste probleem. Tevens geldt dat voor deze scheurwijdte-toets de maximale scheurwijdte voortkomt uit tabel 7.1N van de NEN-EN 1992-1-1 en in overeenstemming met de opdrachtgever eventueel een andere eis kan worden afgesproken. Daarnaast kunnen in verband met vloeistofdichtheid ook strengere eisen worden gesteld.

De verschillende mogelijke scheurwijdte-eisen, die omschreven zijn bij de BGT-toetsing van hybride doorsnedes, zijn hier ook van toepassing. De aanpak rondom de eerste eis, geen scheurvorming toegestaan, is identiek voor zowel hybride – als alleen staalvezel doorsnedes.

Bij het berekenen van de scheurwijdte zit daarentegen wel een groot verschil. De formule die toegepast kan worden om de scheurwijdte voor alleen staalvezelversterktbeton uit te rekenen is in dit geval volgens artikel 8.5.3 van CUR-Aanbeveling 111 ook nog:

$$w_{\max} = 2 * (h - h_x) * \epsilon_{ft,\max} \quad (22)$$

Waarin:

- h staat voor de hoogte van de doorsnede.
- h_x staat voor de hoogte van de betondrukzone.
- $\epsilon_{ft,\max}$ staat voor de rek in de uiterste vezel van de trekzone.

Daarentegen bestaat voor de controle, of het optredende moment in de BGT opgenomen kan worden, wel een andere formule. Uit Bijlage A is af te leiden dat voor betondoorsnedes met alleen staalvezels het opneembare moment in de BGT ($M_{w\max}$), ten gevolge van de scheurwijdte-eis, bepaald kan worden op basis van de volgende formule:

$$M_{w\max} = \left(\frac{2}{3} * h_x * N_1\right) + \left(\frac{1}{2} * (h - h_x) * T_{2,1}\right) + \left(\frac{1}{3} * (h - h_x) * T_{2,2}\right)$$

Waarin:

- N_1 gelijk moet staan aan $0,5 * h_x * b * f_{fcrep} * (\epsilon_{ft,\max} / 0,0021) * (h_x / (h - h_x))$
- $T_{2,1}$ gelijk moet staan aan $b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2} - ((\epsilon_{ft,\max} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3})))$
- $T_{2,2}$ gelijk moet staan aan $\frac{1}{2} * b * (h - h_x) * ((\epsilon_{ft,\max} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3})))$
- h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.
- h_x staat voor de hoogte van de betondrukzone.

- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
- f_{fcrep} staat voor de representatieve betondruksterkte; en moet gelijk staan aan $0,72 * f_{fck,cube}$ (2)
- $f_{ftrep,2}$ gelijk moet staan aan $0,45 * f_{eqm,1}$ (9)
- $f_{eqm,1}$ staat voor de testwaarde bij 0,5mm rek.
- $f_{ftrep,3}$ gelijk moet staan aan $0,37 * f_{eqm,4}$ (10)
- $f_{eqm,4}$ staat voor de testwaarde bij 3,5mm rek .
- $\epsilon_{ft,max}$ staat voor de maximale rek in de vezels; en moet gelijk staan aan $(25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} / (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$

Voor horizontaal evenwicht in de doorsnede moet gelden:

$$\sum H = 0 \rightarrow N_1 = T_{2,1} + T_{2,2}$$

Daarnaast moet gecontroleerd worden of door het aandeel van krimp de capaciteit van de doorsnede niet overschreden wordt. Dit kan met de volgende formule:

$$(((M_{rep} + M_{krimp}) / M_{wmax}) + (N_{krimp} / (b * h * f_{ftrep,1}))) \leq 1 \quad (23)$$

Waarin:

- M_{rep} staat voor het representatieve moment ten gevolge van de optredende belastingen in de bruikbaarheidsgrenstoestand.
- M_{krimp} staat voor het moment ten gevolge van de krimpbelasting.
- M_{wmax} staat voor het moment waarmee aan de scheurwijdte-eis wordt voldaan.
- N_{krimp} staat voor de normaalkracht ten gevolge van de krimpbelasting.
- b staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.
- h staat voor de hoogte van de beschouwde doorsnede.
- $f_{ftrep,1}$ gelijk moet staan aan f_{ftm} .

Uitwendige belastingen

De scheurwijdte wordt getoetst met het frequente moment (M_{freq}) in de BGT optreedt.

Verhinderde krimp

De scheurwijdte wordt getoetst met het scheurmoment (M_{cr}) in de BGT optreedt.

Vervorming

Voor de vervorming gelden, ook voor betondoorsnedes met alleen staalvezels, dezelfde regels. Deze gestelde eisen staan omschreven bij de BGT-toetsing van traditionele doorsnedes. De verschillende methoden om de vervorming te controleren, zoals omschreven bij de BGT-toetsing van traditionele doorsnedes, zijn wederom bij dit doorsnede type van toepassing. Aangezien de regels tevens bij deze situatie van toepassing zijn, dient het ontwerp gecontroleerd te worden op de eisen.

Door alle bovengenoemde aspecten te controleren en het ontwerp daar mogelijk op aan te passen, is een ontwerp voor een betonvloer op palen te realiseren die in de bruikbaarheidsgrenstoestand op alle aspecten voldoet aan de vigerende regelgeving.

6.1.5.6 Toetsing UGT (Staalvezel versterkte betondoorsnede)

Buigend moment

De capaciteit van staalvezelversterktbeton van op buiging belaste elementen in de uiterste grenstoestand mag volgens artikel 8.1 uit de CUR-111 als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = \left(\frac{11}{18} * h_{xu} * N_1\right) + \left(\frac{1}{2} * (h - h_{xu}) * T_{2.1}\right) + \left(\frac{1}{3} * (h - h_{xu}) * T_{2.2}\right)$$

Waarin:

N_1	gelijk moet staan aan $0,75 * h_{xu} * b * f_{cd}$	
$T_{2.1}$	gelijk moet staan aan $b * (h - h_{xu}) * (f_{ftd,2} - ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3})))$	
$T_{2.2}$	gelijk moet staan aan $\frac{1}{2} * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$	
h	staat voor de hoogte van de doorsnede.	
h_{xu}	staat voor de hoogte van de betondrukzone.	
b	staat voor de breedte van de beschouwde doorsnede.	
f_{cd}	staat voor de rekenwaarde van de druksterkte van staalvezelbeton.	
$f_{ftd,2}$	gelijk moet staan aan $0,45 * (f_{eqm,1} / \gamma_{ft})$	(9)
$f_{eqm,1}$	staat voor de testwaarde bij 0,5mm rek.	
$f_{ftd,3}$	gelijk moet staan aan $0,37 * (f_{eqm,4} / \gamma_{ft})$	(10)
$f_{eqm,4}$	staat voor de testwaarde bij 3,5mm rek.	
γ_{ft}	gelijk moet staan aan 1,25 in het geval van een constructie bestaande uit doorgaande vloervelden en staalvezelbeton met voldoende vervormingscapaciteit; aan het laatste is voldaan als $f_{ftk,3} / f_{ftk,1} \geq 0,5$. In alle overige gevallen geldt 1,5.	
ϵ_{ft}	staat voor de rek in de vezels.	

Voor horizontaal evenwicht in de doorsnede moet gelden:

$$\sum H = 0 \rightarrow N_1 = T_{2.1} + T_{2.2}$$

Om de hoeveelheid toe te passen vezels te berekenen dient als uitgangspunt gesteld te worden dat $M_{Rd} \geq M_{Ed}$. De waarden die voor $f_{ftd,2}$ en $f_{ftd,3}$ zijn aangenomen, om de voorgaande stelling als waar te beschouwen, zijn de waarden van de minimaal benodigde capaciteit van de vezels. Aan de hand van deze capaciteit dient het vezeltype en dosering gekozen te worden die minimaal die capaciteit kunnen leveren.

Pons

Tevens geldt bij deze situatie dat, naast de hierboven omschreven momentcapaciteit, de dwarskrachtcapaciteit in de vorm van ponsweerstand een cruciaal onderdeel van de UGT-controle van diverse doorsneden is. De berekening van de ponsweerstand, zoals bij de UGT-controle van traditionele doorsneden is omschreven, is bijna identiek aan de ponsweerstand van betondoorsneden met alleen staalvezels.

Indien staalvezels aan het beton zijn toegevoegd mag de ponsweerstand van de doorsnede worden verhoogd met een bijdrage van de staalvezels. Deze bijdrage is $v_{f,d} = 0,18 * f_{eqk,3} / 1,4 * \gamma_{ft}$. (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019). Om dan tot de totale ponsweerstand te komen geldt: $v_{Rd} = v_{Rd,c} + v_{f,d}$.

Dwarskracht

Net als bij alle voorgaande doorsneden dient hierbij ook de dwarskracht getoetst te worden. De toetsing van dit type doorsnede gaat bijna identiek aan de toetsing van een hybride doorsnede. Het enige afwijkende is het aandeel van het wapeningsstaal. Bij doorsneden met alleen staalvezels is dit namelijk niet aanwezig. Dit aandeel mag dus niet gerekend worden en moet alleen met het aandeel van de vezels gerekend worden. Bij het berekenen van de capaciteit moet k_h dus 1 zijn om alleen het aandeel van vezels te rekenen.

Wringing

Net als bij hybride doorsneden geldt voor doorsneden met alleen staalvezels dat geen afwijkende toetsingsmethoden rondom wringing zijn gesteld. Vandaar dat de methode zoals omschreven bij de UGT-toets van traditioneel gewapende doorsneden gehanteerd moet worden.

Door alle bovengenoemde aspecten te toetsen en het ontwerp daar mogelijk op aan te passen, is een ontwerp voor een betonvloer op palen te realiseren, die op het gebied van sterkte (UGT) en stijfheid (BGT) voldoet aan de vigerende regelgeving. Deze opgedane theoretische kennis levert dat het technische aspect rondom een betonvloer op palen inzichtelijk is.

Deelvraag 2: Hoe wordt het financiële aspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?

Een belangrijk aspect bij het bereiken van het meest optimale paal-vloerontwerp, is het aspect financiën. De term financiën is in dit onderzoek gedefinieerd als 'kostprijs'. Om de huidige kostprijs te achterhalen, zijn verschillende interviews gehouden met experts rondom de materialen, die nodig zijn bij de realisatie van een betonvloer op palen.

Voor de kostprijs van de verschillende materialen is de Hoofd Inkoop van Ten Brinke vestiging Almelo geïnterviewd. Het interview met de inkoper van Ten Brinke zelf is gehouden om een realistisch beeld te verkrijgen van de kosten die Ten Brinke heeft bij de aanschaf van de materialen. De materialen, die zijn meegenomen bij deze deelvraag zijn beton, wapeningsstaal en staalvezels.

Wanneer naar het meest optimale paal-vloerontwerp gestreefd wordt, dient naast de individuele materialen van de vloer ook rekening gehouden te worden met de kosten van de funderingspalen. Vandaar dat deze ook zijn meegenomen.

Om de kosten voor één kubieke meter beton te achterhalen is een interview gehouden met Coen Kuipers (Hoofd Inkoop bij Ten Brinke). De heer Kuipers gaf aan dat de prijs voor een kubieke meter beton verschilt per betonsterkteklasse en per regio. Hij heeft kerngetallen voor de betonsterkteklassen 'C20/25' en 'C30/37' kunnen geven, aangezien deze sterkteklassen het meest gangbaar zijn. "Van standaard beton is het dan €105,-, voor de C30/37, ik zou €120,- per kuub aanhouden" (Kuipers, 2024). Dit zijn de prijzen voor een kubieke meter in het werk gestort beton. Dan ontbreekt de prijs voor verwerking nog. Voor de verwerking wordt een prijs van €45,- per kubieke meter aangehouden. De totale prijs voor één kubieke meter beton inclusief verwerking is €165,- voor C30/37.

De funderingspalen onder de vloer zijn ook van beton, maar daarvoor is een andere eenheid gebruikt om de prijs aan te duiden, namelijk prijs per strekkende meter paal. Om een kerngetal te achterhalen is aan de heer Kuipers gevraagd naar de prijs van één strekkende meter paal. "Dat is lastig. Dat is echt heel moeilijk, hoe groot, hoe diep, aantallen" (Kuipers, 2024). Zijn enkele voorbeelden gegeven door de heer Kuipers om te onderbouwen waarom het zo lastig is om een kerngetal te geven. Om toch een inschatting tot de kerngetallen te kunnen maken, zijn hele grove aannames gedaan om toe te passen in dit onderzoek. Deze waarden zijn in tabel 15 gepresenteerd.

Tijdens het interview met de staalvezelleverancier is ook de kostprijs van een kilogram staalvezels besproken. Zo gaf de heer Wight aan dat de gemiddelde prijs voor één kilogram Dramix_4D vezels € 1,75 bedraagt, terwijl één kilogram van de Dramix_5D vezels € 2,50 kost. Dit prijsverschil is te wijten aan het verschil in kwaliteit. De Dramix_5D vezels hebben een hogere kwaliteit waardoor die ook duurder is. Bekaert biedt ook nog de Dramix_3D vezel aan, dit staalvezeltype heeft een lagere kwaliteit. Dit is ook weer te zien in de prijs, één kilogram aan Dramix_3D vezels kost namelijk €1,25.

Het laatste onderdeel dat onderzocht is met betrekking tot het financiële aspect is de kostprijs van één kilogram wapeningsstaal. Volgens de heer Kuipers bestaat een verschil in kosten tussen losse wapeningsstaven en wapeningsnetten. "De gemiddelde prijs voor een kilo wapeningsstaaf is €1,35 inclusief vlechten en afstand houders. Wapeningsnetten is iets goedkoper, houdt daar maar €1,15 aan" (Kuipers, 2024).

Door de verkregen kerngetallen uit de verschillende interviews zijn de kosten van de materialen nu bekend. Op basis van deze waarden is het mogelijk om een ruwe schatting te maken van de kosten bij het ontwerpen van de verschillende vloertypen. Door deze prijsinschatting direct te koppelen aan de verschillende vloertypen, is het eenvoudiger om het meest kostenefficiënte paal-vloer ontwerp te realiseren.

Kosten

Kosten m³ beton

C20/25	€	150,00	€/m ³
C30/37	€	165,00	€/m ³

Kosten per kg wapeningsnetten

Kosten Ø6-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø6-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø7-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø7-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø8-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø8-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø9-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø9-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø10-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø10-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø12-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø12-100	€	1,15	€/kg

Kosten kilogram wapeningsstaal

Ø 6	€	1,35	€/kg
Ø 8	€	1,35	€/kg
Ø 10	€	1,35	€/kg
Ø 12	€	1,35	€/kg
Ø 16	€	1,35	€/kg
Ø 20	€	1,35	€/kg

Kosten staalvezels

Dramix_4D	€	1,75	€/kg
Dramix_5D	€	2,50	€/kg

Kosten strekende meter funderingspaal

Heipaal Vierkant 180	€	9,23	€/m ¹
Heipaal Vierkant 220	€	13,79	€/m ¹
Heipaal Vierkant 250	€	17,81	€/m ¹
Heipaal Vierkant 290	€	23,97	€/m ¹
HSP Ø180	€	6,11	€/m ¹
HSP Ø220	€	9,12	€/m ¹
HSP Ø273	€	14,05	€/m ¹

Tabel 15; Kosten per eenheid van verschillende producten. (Kuipers, 2024)

Deelvraag 3: Hoe wordt het duurzaamheidsaspect van de diverse materialen, die benodigd zijn bij het realiseren van een betonvloer op palen geïntegreerd in het ontwerp?

Het duurzame aspect rondom de betonvloer op palen is ook een belangrijk onderdeel van dit onderzoek. Duurzaamheid is (zoals in de afbakening al omschreven is) in dit onderzoek gedefinieerd in de term de CO₂-impact. Om inzicht te krijgen in de kernwaarden van de CO₂-impact van de materialen, die in een betonvloer op palen toegepast worden, zijn verschillende interviews gehouden met experts. De materialen, die in dit onderzoek meegenomen zijn, zijn beton, wapeningsstaal en staalvezels. Wanneer naar het meest optimale paal-vloerontwerp gestreefd wordt, dienen naast de individuele materialen van de vloer ook rekening gehouden te worden met de afmetingen van de funderingspalen.

Om de kernwaarde voor de CO₂-impact van beton te achterhalen is een interview gehouden met Niki Loonen (Senior-adviseur bij ABT). Volgens de heer Loonen is het lastig om één kerngetal vast te stellen, die als algemene vuistregel kan dienen, aangezien de CO₂-impact van beton varieert afhankelijk van het seizoen. “In de winter heeft beton meer CO₂-impact dan in de zomer” (Loonen, 2024). Dit verschil wordt veroorzaakt door temperatuurverschillen in het buitenklimaat. Bij lagere temperaturen is meer portlandcement nodig om het verhardingsproces van het beton te bevorderen. Daartegenover, bij hogere temperaturen kan een deel van het portlandcement worden vervangen door hoogovenslak, wat een lagere CO₂-impact heeft. Deze vervanging is mogelijk doordat hoogovenslak bij hogere temperaturen ook het verhardingsproces kan bevorderen.

Bij lagere temperaturen reageert hoogovenslak niet snel genoeg om het beton binnen een redelijke termijn voldoende te laten uitharden. Om dit vertraagde verhardingsproces te verhelpen kunnen verschillende activatoren zoals natriumsulfaat aan het beton worden toegevoegd. Een nadeel van het toevoegen van deze activatoren is dat dit niet alleen leidt tot het gebruik van meer verschillende materialen, maar ook tot een verhoogde CO₂-impact. “Het blijft dus lastig om de juiste oplossing toe te passen” (Loonen, 2024).

Hoewel de theoretische kennis voor de productie van CO₂-neutraal beton al bestaat, “We weten dus hoe wij CO₂-neutraal beton moeten maken” (Loonen, 2024), blijft de praktische toepassing ervan nog achter. Deze beperking in praktische toepassing is veroorzaakt door de hoge kosten en het gebrek aan productiecapaciteit van de betoncentrales om het CO₂-neutrale beton op grote schaal te produceren. Een belangrijke belemmering aan de grootschalige productie is het gebrek aan voldoende beschikbare silo's bij de betoncentrales om alle verschillende materialen op te slaan die nodig zijn voor het bereiken van CO₂-neutraal beton. Bovendien is een essentieel onderdeel, het fijne hoogovenslak, tot op heden slechts in beperkte hoeveelheden beschikbaar. Wat ook een onderdeel is van de beperkte grootschalige productie.

De heer Loonen stelt dat, als toch een algemeen kerngetal aan de CO₂-impact van het beton gekoppeld moet worden, die alomvattend is, dus zonder verschillen in zomer en winter en zonder verschillen in sterkteklassen, een waarde van 200 kilogram CO₂ per kubieke meter beton kan worden gehanteerd. Dit getal biedt een redelijke aanname om de totale CO₂-impact van het toegepaste beton te schatten.

Om de kernwaarde voor de CO₂-impact van staalvezels en traditioneel wapeningsstaal te achterhalen is een interview gehouden met Bart Wight (Sales Representative Dramix bij Bekaert). Uit het interview met de heer Wight is gebleken dat de CO₂-impact van één kilogram staal gelijk staat aan één kilogram CO₂. “Staalvezels of traditionele wapening hoeveel gram CO₂, ik zeg altijd van staal is staal. Of ik nou een kilogram wapening heb of een kilogram staalvezel, het zal mekaar echt niet heel veel ontlopen. Vuistregel is één kilogram staal is één kilogram CO₂” (Wight, 2024). De heer Loonen heeft dezelfde waarden vermeld tijdens het interview. “In Nederland is het ongeveer één kilo CO₂ per kilo staal” (Loonen, 2024).

Vanuit het perspectief van duurzaamheid is het dus wenselijk om zoveel mogelijk beton te besparen, aangezien het aandeel in volume en de CO₂-impact aanzienlijk hoger is. Zelfs kleine besparingen in beton dragen aanzienlijk bij aan het verlagen van de CO₂-impact.

Deelvraag 4: Wat is het huidige ontwerpproces voor een betonvloer op palen bij Ten Brinke?

In het interview met de heer Naafs, de leidinggevende van de afdeling Advies en Engineering bij Ten Brinke Group vestiging Almelo, is vastgesteld dat het ontwerpproces momenteel wordt uitgevoerd volgens een chronologische volgorde.

Nadat de tekeningen zijn ontvangen, is de eerstvolgende stap het bepalen van de opgelegde belastingen. Gelijktijdig worden de belastingcategorie en gevolgklasse van de situatie vastgesteld.

De eerste concrete stap in het ontwerpproces is het schatten van de vloerdikte. “Ik start meestal bij 25 centimeter” (Naafs, 2024). Nadat de dikte van de vloer is geschat, wordt de rekenwaarde van de vlaklast berekend. Alle benodigde waarden van de totale optredende belastingen zijn dan namelijk bekend, de veranderlijke belasting (opgelegde belastingen) en de permanente belasting (het eigen gewicht van de vloer).

Op basis van eerdere projecten wordt het paalraster vastgesteld en worden de optredende buigende ondermomenten berekend met behulp van de GTB-tabellen. Het ontwerpen is zodanig uitgevoerd dat het ondermoment overal min of meer gelijk is, waardoor één type ondernet toegepast kan worden. Doormiddel van de bekende momenten kan ook de benodigde hoeveelheid wapening worden bepaald. Bij betonvloeren op palen geeft Ten Brinke de voorkeur aan het gebruik van wapeningsnetten. De hoeveelheid basiswapening is gelimiteerd aan wapeningsnetten Ø12-100.

Nadat de benodigde wapening ten behoeve van het afwapenen van de optredende buigende momenten is bepaald, wordt ‘pons’ gecontroleerd. “Ik heb mijn raster en weet mijn P_{Ed} , dan weet ik ook mijn paalkracht” (Naafs, 2024). Bij de optredende paalkracht wordt de juiste funderingspaal gezocht zodat de exacte ponscontrole kan worden uitgevoerd. De heer Naafs streeft doorgaans naar een ontwerp waarbij geen ponswapening toegepast hoeft te worden. Indien uit de ponscontrole blijkt dat dit vereist is, wordt het paalraster aangepast om de ponskracht te verminderen.

Door het verkleinen van het paalraster wordt ook het optredende buigend moment verkleind. “Met diezelfde wapening kan nu een iets dunnere vloer” (Naafs, 2024).

Vervolgens is de bovenwapening bepaald, en zodra die bepaald is, wordt de scheurwijdte gecontroleerd. Een cruciaal aspect hiervan is het scheurmoment. Het scheurmoment is direct gerelateerd aan de dikte van de vloer. Een toename in vloerdikte zorgt voor een groter scheurmoment, wat op zijn beurt weer resulteert dat meer wapening benodigd is.

Het streven is naar het gelijk krijgen van het scheurmoment en het moment dat voortkomt uit uitwendige belastingen. Wanneer het scheurmoment groter is dan het moment door uitwendige belastingen moet de vloer dus eigenlijk dunner worden uitgevoerd om tot het optimale ontwerp te komen. Echter, wanneer de vloer dunner is neemt de kans op het toepassen van ponswapening ook toe.

Zo weet de heer Naafs te vertellen dat veel verschillende parameters onbekende waardes zijn. “Het enige wat vastligt zijn je belastingen. Dat is nog niet eens helemaal vastgelegd, want je weet je vloerdikte niet” (Naafs, 2024). Als hoofdconstructeur is het noodzakelijk om voortdurend de geschatte waarden aan te

passen om het meest optimale ontwerp te bereiken. “Soms moet je veel vaker heen en weer pendelen. Dus het is nooit één mooie lijn zeg maar” (Naafs, 2024).

Concluderend, de heer Naafs begint met het schatten van verschillende waarden. Die geschatte waarden zijn vervolgens gebruikt om de wapening en scheurwijdte te berekenen. Indien hij niet tevreden is met de benodigde wapening of met de scheurwijdte, past hij de geschatte waarden aan en herberekent hij de situatie met de nieuwe waarden. Op die manier gaat hij door met het proces totdat hij tevreden is met de resultaten.

Deelvraag 5: Hoe kan het ontwerpproces voor een constructieve betonvloer op palen worden gecombineerd met de duurzame en financiële aspecten, zodat het ontwerp van de betonvloer op palen geoptimaliseerd is op de technische, financiële en duurzame gebieden?

Het belangrijkste aspect in het ontwerpproces is voor de constructeur het maken van een ontwerp dat voldoet aan de vigerende regelgeving. Er bestaat verschillende rekensoftware, die daarvoor gebruikt kan worden. Naar overeenstemming met Ten Brinke is gekozen om Excel als rekensoftware te gaan gebruiken bij dit onderzoek. Door diverse formules op Excel-bladen te programmeren, is Excel te gebruiken als ontwerptool om een ontwerp van een constructieve betonvloer op palen te maken dat voldoet aan de vigerende regelgeving. Als het technische aspect bekend is kunnen daar het duurzame en het financiële aspect ook aan gekoppeld worden.

Door projectgegevens uit het voorlopige ontwerp van de opdrachtgever, zoals oppervlakte en bestemmingsfunctie, op een 'invulblad' in te vullen, is Excel in staat om het totaal benodigde aantal materialen te berekenen. Uit deelvragen 2 en 3 blijkt dat er kernwaarden bekend zijn voor de kosten en CO₂-impact materialen. Zodoende kan direct inzichtelijk gemaakt worden wat het duurzame en financiële aspect van het ontwerp is. Om het ontwerpproces efficiënter te laten verlopen zijn alle resultaten gelijk na iedere aanpassing op hetzelfde invulblad gepresenteerd.

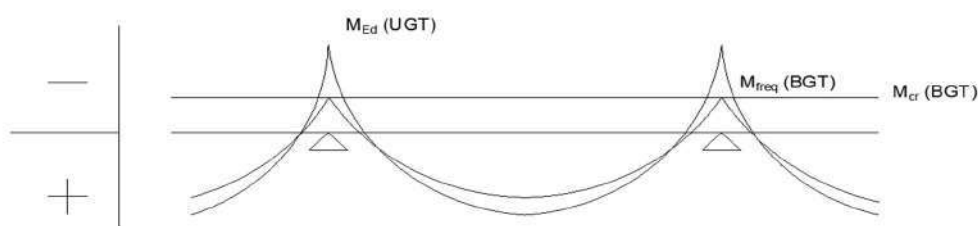
Ten behoeve van het maken van de ontwerpberekeningen om tot een ontwerp te komen dat voldoet aan de vigerende regelgeving zijn standaardwaarden van materiaaleigenschappen nodig. Vandaar dat in Excel naast het invulblad ook materiaaleigenschappen gepresenteerd/berekend zijn. Aangezien, zoals eerder benoemd bij de afbakening, is gekozen om de vloertypes traditioneel, hybride en staalvezels te beschouwen, dienen voor de materialen die bij deze type vloeren worden toegepast de eigenschappen toegevoegd te zijn.

De materiaaleigenschappen alleen zijn niet genoeg om een ontwerp te maken. Vandaar dat, zoals al bovenstaand omschreven is, ook een invulblad benodigd is. Het ontwerpproces van een constructieve betonvloer op palen kan door Excel worden versimpeld, maar de constructeur moet nog wel een aantal project gerelateerde waarden invullen. Denk hierbij aan de gevolgklasse, afmetingen van de vloer, belastingcategorie enzovoort. Voor de exacte waarden, die de constructeur allemaal in moet vullen, wordt verwezen naar de oranje gemarkeerde, zwart omlijnde waarden op het invulblad van de uitdraai van het Excel-bestand in de bijlagen.

Als alle waarden zijn ingevuld is de eerst volgende berekeningsstap het berekenen van het scheurmoment (M_{cr}). Het geoptimaliseerde ontwerpproces is zo opgezet, dat na het berekenen van het scheurmoment, de scheurwijdte wordt gecontroleerd aan de gestelde eisen. Ten gevolge van deze controle kunnen de eerste aannames gemaakt worden ten behoeve van de wapening. De voorgestelde wapening is onderverdeeld in verschillende onderdelen. Namelijk boven- en onderwapening, dit geldt voor de rand- en middenvelden. De wapening in de hoekvelden zijn gelijk aan de wapening in de randvelden. Vervolgens wordt het paalraster bepaald aan de hand van het paal draagvermogen van de goedkoopste paal. Na een case study rondom de optimalisatie is de conclusie getrokken dat dit het goedkoopste resultaat levert. Andere methodes die geprobeerd zijn om tot het meest optimale paalraster te komen zijn; $l = \sqrt{M_{Rd} / (0,001 * P_{freq} * \text{momentencoëfficiënt})}$ en $l = \sqrt{M_{Rd} / (0,001 * P_{Ed} * \text{momentencoëfficiënt})}$.

Zodra het paalraster bekend is kan het frequente moment (M_{freq}) en het uiterste moment (M_{Ed}) worden berekend. De eerste wapeningsaannee dient dan te worden gecontroleerd aan deze krachten. Tevens dient de wapeningsaannee gecontroleerd te worden aan de gestelde scheurwijdte-eis. De praktijk leert dat deze scheurwijdte-eis vaak de maatgevende eis is voor de benodigde wapening.

De laatste stap in de BGT-situatie is het controleren of de wapening die voorgeschreven is vanuit de scheurwijdte-eis voldoende capaciteit heeft om de krachten in de vloer, vanuit het aangenomen paalraster en belastingen, op te nemen. Het streven is om de BGT-momenten (M_{freq} & M_{cr}) zo dicht mogelijk bij elkaar te krijgen (zie figuur 29). Als dit bereikt is hoeft in de specifieke situatie niet bijgelegd te worden.



Figuur 29; Momenten-lijnen.

Als die wapening voldoende capaciteit heeft voldoet de vloer in de BGT-situatie und anders wordt mehr Wapening vorgeschrieben. Bei der Unterwäpfung geht dies in der Form von ein größer Wäpfungsgitter und bei der Oberwäpfung werden dann losse Stäben zugefügt. Durch das Anwenden von mehr Wäpfung nimmt die auftretende Stahlspannung von der Wäpfungsstahl gleichzeitig ab wodurch es bleibt erfüllen an der Rissbreite eis.

Vervolgens wordt de benodigde wapening, die voorkomt vanuit de BGT-situatie, gecontroleerd aan de uiterste optredende krachten in de UGT-situatie. De eerste stap, die gedaan wordt bij de UGT-controle, is het toetsen of een wapeningsbaan toegepast dient te worden. In deelvraag 1 staat meer informatie omschreven over de toepassing en werking van een wapeningsbaan.

Wanneer de eerste wapeningsaannee voldoende capaciteit heeft om het uiterste krachten op te nemen verandert niets aan het wapeningsvoorstel. Indien de wapening vanuit de BGT-situatie niet voldoende capaciteit heeft, wordt een nieuw wapeningsvoorstel voorgeschreven.

Het voorschrijven van een nieuw wapeningsvoorstel gaat op basis van een contranet und losse bijleg stäben. De ontwerper kan op het invulblad de keuze maken of hij/zij ein contranet wilt toepassen of niet. Indien wel voor het toepassen von ein contranet is gekozen wordt eerst deze gerekend und waar nodig dann noch losse stäben bijgelegd. Indien nicht voor het toepassen von ein contranet is gekozen, wordt direct ein voorstel von losse bijlegwäpfungsstäben gedaan.

Zodra voor de UGT-situatie ook voldoende wapening voorgeschreven is dient voor het onderdeel sterkte noch maar één onderdeel gecontroleerd te worden.

Het laatste onderdeel, dat voor het onderdeel sterkte gecontroleerd dient te worden, is het fenomeen 'pons'. Dit is het principe dat die funderingspaal door die vloerplaat heen drukt. Door die oppervlakte von der paalraster mit der auftretenden belasting te vermenigvuldigen is die auftretende ponskracht berekend. Die eerste stap von der ponscontrole is het berekenen von der auftretenden ponsspanning, vervolgens die ponsweerstand und daarna die maximale ponsweerstand. Wanneer die auftretende ponsspanning größer is dann die ponsweerstand dient ponswäpfung toegepast te werden. Tevens dient gecontroleerd te werden of die ponsspanning nicht größer is dann die maximale ponsweerstand. Diese laatste situatie doet sich rondom die omtrek von der funderingspaal voor.

Mocht één van de bovengenoemde stellingen niet voldoen dan kan deze overschrijding verholpen worden door verschillende opties. Voorbeelden van mogelijke opties zijn: een kleiner paalraster of een dikkere vloer toe passen. (Het toepassen van een kopplaat is ook een optie, maar zoals bij de afbakening omschreven is, blijft deze tijdens dit onderzoek buiten beschouwing.) Deze opties kunnen handmatig aangepast worden door de 'override' cellen op het invulblad in te vullen met de gewenste aanpassing.

Nog een oplossing welke vaak materiaalefficiënter is, maar alleen toegepast mag worden indien de ponsspanning kleiner is dan de maximale ponsweerstand, is het toepassen van speciale ponswapening. Zoals in de afbakening benoemd is, wordt tijdens dit onderzoek uitgegaan van ponschoedjes (zie figuur 6) als ponswapening.

De vereiste ponswapening wordt berekend om zodoende voldoende weerstand te kunnen creëren. Daarnaast wordt het gebied berekend waar ponswapening toegepast dient te worden en dus de totale lengte van de benodigde wapeningsstaven. Indien de ontwerper geen ponswapening wilt toepassen is uit een case study gebleken dat het paalraster verkleinen de meest efficiënte oplossing van de hierboven genoemde mogelijkheden is.

De laatste stap van het ontwerpen van de betonvloer op palen is het controleren van de doorbuiging. Dit is gedaan op basis van slankheidseisen. Wanneer niet aan deze slankheidseisen wordt voldaan buigt de vloer te ver door.

Voor doorsneden waarbij staalvezels worden toegepast is het ontwerpproces nagenoeg hetzelfde. Alleen daarbij wordt in de BGT-situatie een aanname gedaan met staalvezels er bij in. Wat levert dat een kleiner wapeningsnet wordt voorgeschreven. Verder wordt het onderwerp wapeningsbaan niet meegenomen met staalvezels, omdat de staalvezels de krachten van zichzelf al herverdelen.

Tot slot worden al deze ontwerpaannames direct weer gepresenteerd op het invulblad waarin precies staat wat benodigd is per vloertype. Tevens wordt op dit blad ook de totale prijs in euro's en CO₂-impact in kilogrammen per vloertype gepresenteerd en natuurlijk het meest optimale ontwerp. Zo is voor de constructeur in één oogopslag te zien welk vloertype het meest financieel aantrekkelijk is en welke de laagste CO₂ uitstoot oplevert.

Concluderend is het ontwerpproces ten opzichte van de heer Naafs compleet omgedraaid om tot het optimale proces en ontwerp te komen. Door dit nieuwe ontwerpproces is een flinke tijdsbesparing behaald.

Hoofdstuk 7: Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusie

Om de algehele conclusie te formuleren voor de hoofdvraag, die als volgt luidt: ‘Hoe kan Ten Brinke een betonvloer op palen, bestemd voor bedrijfshallen, parametrisch ontwerpen om te komen tot een financieel, technisch en duurzaam optimum met behulp van een ontwerptool, zodat het ontwerpproces wordt verbeterd en versneld?’, zijn eerst de conclusies van de deelvragen op een rijtje gezet.

De methode waarop een constructieve betonvloer op palen ontworpen kan worden, zodat hij voldoet aan de vigerende regelgeving, is in deelvraag 1 onderzocht. Tijdens dit onderzoek zijn verschillende uitvoeringsmanieren gevonden. Deze komen onder andere voort uit de Eurocodes, GTB-2013 en CUR-Aanbeveling 111. Tevens zijn diverse studieboeken rondom beton toegepast. Dit waren de boeken ‘CB2; constructieleer Gewapend Beton’ & ‘CB4; Ontwerpen in gewapend beton’. Door al deze verschillende bronnen toe te passen is de benodigde informatie verkregen rondom het ontwerpen van verschillende typen betonvloeren. Met de verkregen informatie kan een ontwerp gerealiseerd worden, dat op technisch aspect voldoet aan de vigerende regelgeving.

Deelvraag 2 is geformuleerd om de kostprijzen van de verschillende onderdelen te achterhalen. Aan de hand van de verkregen eenheidsprijzen uit het onderzoek rondom die deelvraag is voor de verschillende onderdelen van de betonvloer op palen de kostprijs te bepalen.

In deelvraag 3 is voor de verschillende onderdelen de CO₂-impact onderzocht. Wederom zijn eenheidswaardes verkregen, waardoor ook de CO₂-impact per product te bepalen is.

Uit deelvraag 4 is de huidige manier van het ontwerpen van een betonvloer op palen door de hoofdconstructeur van Ten Brinke vestiging Almelo, de heer Naafs, bekend. Hieruit bleek, dat tijdens het ontwerpproces vaak een berekening van een element opnieuw uitgevoerd moest worden, met aangepaste waarden, om uiteindelijk tot een geschikt ontwerp te komen. Deze iteratieve handeling handmatig doen is niet efficiënt.

Een speciale ontwerptool in de vorm van een Excel-bestand komt als resultaat uit deelvraag 5 als dé manier waarop Ten Brinke een betonvloer op palen kan ontwerpen. Door middel van deze ontwerptool kan het proces van het ontwerpen van de betonvloer op palen versneld worden en zijn tevens het financiële- en duurzaamheidsaspect inzichtelijk.

Uit dit onderzoek valt te concluderen dat het proces voor het ontwerpen van een betonvloer op palen is versneld. Ten Brinke kan namelijk nu door middel van de ontwikkelde ontwerptool een betonvloer op palen binnen minder tijd ontwerpen. De hoofdconstructeur hoeft nog maar één waarde te schatten, waardoor ook al een stap richting de optimalisatie is gezet. Door nog maar één waarde te hoeven schatten is er veel minder onzekerheid en dus minder inefficiëntie. Door middel van de tool is een ontwerp te realiseren, waaraan direct de kostprijs en de CO₂-impact verbonden zijn. De hoofdconstructeur heeft hierdoor snel inzichtelijk wat benodigd is om een betonvloer op palen te realiseren die voldoet aan de vigerende regelgeving, gecombineerd met het financiële en duurzaamheidsaspect. Door verschillende parameters aan te passen heeft hij ook direct inzichtelijk wat de gevolgen zijn voor de kostprijs en milieu-impact. Door deze twee extra aspecten hebben meerdere partijen profijt van de tool. Door het financiële aspect heeft de calculator sneller informatie en door het duurzaamheidsaspect kan beter ontworpen worden op lagere CO₂-impact wat uiteindelijk voor de gehele maatschappij beter is.

7.2 Discussie

Een mogelijk punt wat uit dit onderzoek tot discussie kan leiden is het toepassen van de vereenvoudigde spanning-rekrelaties bij staalvezelversterktbeton in de UGT en BGT. De vereenvoudigde spanning-rekrelaties leveren over het algemeen lagere waarden op. Om het optimale ontwerp te behalen, wordt gestreefd naar de hoogste prestaties tegen de laagste inbreng. Hierbij is de neiging om voor de hoogste waarden te gaan om de hoogste prestaties te krijgen. De hoogste waarden kiezen is bij dit onderwerp dus niet het geval, omdat de vereenvoudigde relaties gekozen zijn. De tijd die extra besteed moet worden bij het toepassen van de exacte spanning-rekrelaties levert in capaciteit een minimale winst, waardoor het voor het totale ontwerpproces efficiënter is om de exacte spannings-rekrelaties niet toe te passen en bij dit onderzoek dus de keuze is gemaakt voor de vereenvoudigde spanning-rekrelaties.

7.3 Aandachtspunten

Een aandachtspunt rondom dit onderzoek is dat bij puntvormig ondersteunde vlakke plaatvloeren scherp op de strenge eisen gelet moet worden. Hoofdzakelijk de scheurwijdte-eis. Verder dient extra aandacht besteed te worden aan de verschillende parameters. Bij het ontwerpen van de vloer zijn veel parameters die allemaal invloed op elkaar hebben, waardoor aandachtig op het ontwerpproces gelet moet worden, zodat het berekenen van de constructie correct gebeurt.

7.4 Aanbevelingen

In dit onderdeel zijn adviezen geschreven voor de lezers van dit rapport voor een mogelijk vervolgonderzoek. Tevens zijn adviezen voor Ten Brinke voor het gebruik van de tool geformuleerd.

Een aanbeveling vanuit dit rapport is het nader uitwerken van de afbakeningen rond dit onderzoek. Vanwege het gebrek aan tijd was de uitvoering van deze aspecten niet mogelijk. Een aanvulling op het onderzoek kan dus het nader uitwerken van die aspecten zijn. Indien gekozen wordt voor het verder uitwerken van de plasticiteitstheorie, om dit toe te voegen aan de ontwerptool, is in dit onderzoek bij deelvraag 1 de voorwaarden voor toepassen omschreven.

Voor gebruik van de ontwerptool wordt verwezen naar het stappenplan in de bijlage. Hierin is stap voor stap uitgelegd hoe van de eerste aanname tot de toe te passen materialen gegaan wordt. Hierin zijn ook de uitgangspunten van het onderzoek nog een keer benoemd, zodat mensen die het rapport niet hebben gelezen toch weten wat alle mogelijkheden en beperkingen van de ontwerptool zijn.

Hoofdstuk 8: Referenties

- Bekaert. (2012). *Brochure Dramix steel fiber concrete reinforcement*. België.
- Blok, R. (2018). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Eindhoven: ThiemeMeulenhoff.
- Bouwen met Staal. (z.d.). *Beeldbank*. Opgehaald van Bouwen met Staal: <https://beeldbank-nl.bouwenmetstaal.nl/detail/?id=NL1806&a=s&skip=3678&l=nl>
- Braam, C. (2012). *Ontwerpen in gewapend beton*. Boxtel: Aeneas.
- Braam, C., & Langendijk, P. (2011). *Constructieel gewapend beton*. Boxtel: Aeneas.
- Braam, C., & Van den Bos, A. (2005). *Vloeistofdicht doorgaand-gewapende, ter plaatse gestorte betonvloer - de scheurwijdtecontrole*. cement.
- Braam, C., Van Breugel, K., Niemantsverdriet, J., Van der Veen, C., & Walraven, J. (2001). *Ontwerpen en dimensioneren van vloeistofkerende constructies*. Delft: ENCI Media.
- Cobouw. (z.d.). *Ponswapening in gemeentehuis*. Opgehaald van Cobouw: <https://www.cobouw.nl/54343/ponswapening-in-gemeentehuis>
- CUR-Aanbeveling 111:2018 . (2019, Maart). Opgehaald van cur-aanbevelingen: <https://www.cur-aanbevelingen.nl/cur-aanbeveling-111>
- De Vree, J. (2023, November 10). Opgehaald van Joost de Vree: <https://www.joostdevree.nl/>
- H. van de RIET BOUWSTAAL B.V. (z.d.). *B- en BS-netten*. Opgehaald van H. van de RIET BOUWSTAAL B.V.: <https://www.bouwstaal.nl/productsoort/b-en-bs-netten/>
- Holterman Wapeningsstaal B.V. (z.d.). *Holterman Wapeningsstaal B.V.* Opgehaald van Wapeningsnetten standaard: <https://www.holtermanstaal.nl/>
- IJB groep. (2024, maart 5). *Paal draagvermogen*. Lemmer, Friesland, Nederland. Opgehaald van heipalen: <https://ijbgroep.nl/dienst/heipalen/>
- Krul, A. (2021, oktober 25). *Hoe voer je deskresearch uit?* Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/onderzoeksmethoden/deskresearch/>
- Kuipers, C. (2024, Maart 28). *Hoofd inkoop*. (M. Holterman, & R. Nijeboer, Interviewers)
- Loonen, N. (2024, Maart 08). *CO2-uitstoot beton*. (M. Holterman, & R. Nijeboer, Interviewers)
- Microsoft support. (z.d.). Opgehaald van Office: <https://support.microsoft.com/nl-nl/office/>
- Naafs, H. (2024, Maart 28). *Hoofdconstructeur*. (M. Holterman, & R. Nijeboer, Interviewers)
- Nederlandse Encyclopedie. (2024). Opgehaald van Encyclo: <https://www.encyclo.nl/>
- (2019). *NEN-EN 1990:2002+A1:2019+NB:2019 Grondslagen van het constructief ontwerp*.
- (2019). *NEN-EN 1991-1-1:2002+C11:2019+NB:2019 Volumieke gewichten*.
- (2020). *NEN-EN 1992-1-1:2005+A1:2015+NB:2016+A1:2020 Beton - Algemeen*.

- Sagel, R., Braam, C., & Lagendijk, P. (september 2013). *GTB 2013*. Gouda.
- SCIA - engineer. (2022, November 24). Hasselt, België: SCIA (a nemetschek company).
- Ten Brinke. (z.d.). Opgehaald van Over ons: <https://www.tenbrinke.com/nl/>
- Van Breugel, K., Van der Veen, C., Walraven, J., & Braam, C. (1998). *Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvervormingen*. Delft: BetonPrisma.
- Van Lanen, G., & Reijers, J. (2023). *Scheurvorming hybride gewapende vloeren*. cement.
- Verhoeven, N. (2018). *Wat is onderzoek?* Ovezande: Boom uitgevers Amsterdam.
- Vroom Funderingstechnieken. (2014, juni 18). Paal draagvermogen. Oosthuizen, Noord-Holland, Nederland.
- Wight, B. (2024, Maart 07). Staalvezels; Bekaert. (M. Holterman, & R. Nijeboer, Interviewers)

Tijdens het schrijven van dit rapport is ChatGPT versie 3.5 gebruikt om eigen stukken tekst te controleren op correcte spelling.

Na het gebruik van deze tool zijn de uitkomsten ervan uitvoerig gecontroleerd en is ervoor gezorgd dat het rapport de competenties en leeruitkomsten reflecteert. Wij dragen dan ook de volledige verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit werk.

Hoofdstuk 9: Bijlagen

Aanbevolen toelaatbare paalbelasting volgens IJB-groep

Schachtafmeting in mm	Maximaal toelaatbare paalbelasting in kN
180 * 180	150 (69mm)
220 * 220	350 (71 mm)
250 * 250	550 (71 mm)
290 * 290	750
320 * 320	900
350 * 350	1100

Figuur 30; Aanbevolen paalbelasting (heipaal). (IJB groep, 2024)

Aanbevolen toelaatbare paalbelasting volgens Vroom Funderingstechnieken

nummer	paal- afmeting	Dreken	Dkorf	minimum wapening	opneembare drukkracht met 50mm excentriciteit en minimum wapening berekend met excel-sheet				opn. trekkkr met e=0mm min. Wap.	
					C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C20/25-C35/45	dekking
51	VSD 180	160	16	1 ø16	193	233	274	313	T0	72
52	VSD 219	199	16	1 ø16	310	383	455	528	T0	92
53	VSD 273 ***	253	20	1 ø20	556	672	780	899	T0	117

* korfdiameter kan mogelijk groter
 ** paaldiameter niet beschikbaar
 *** paaldiameter te zwaar voor funderingsmachine

2905 = GEEN GARANTIE OP BETONKWALITEIT MOGELIJK
 VSD palen berekend op 20mm afwijking

PT 18-06-2014

Figuur 31; Aanbevolen paalbelasting (HSP) (Vroom Funderingstechnieken, 2014)

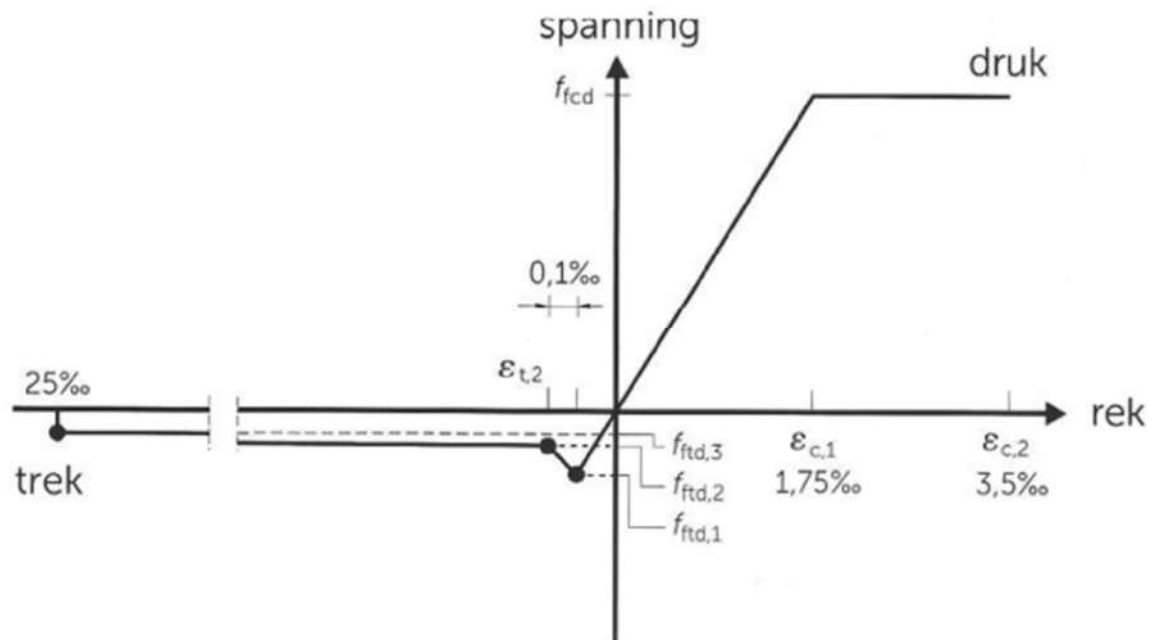
Beschikbare B-Wapeningsnetten

B-netten zijn netten die toegepast worden in vloeren en wanden. Hieronder in tabel 16 zijn gegevens gepresenteerd van de verschillende soorten wapeningsnetten. Deze gegevens zijn samengevoegd aan de hand van gegevens vanuit de leveranciers 'Holterman Wapeningsstaal B.V.' (Holterman Wapeningsstaal B.V., z.d.) en 'H. van de Riet Bouwstaal B.V.' (H. van de RIET BOUWSTAAL B.V., z.d.).

B-netten Type	Diameter Ø (mm)	Afmeting LxB (mm)	Maas (mm)	Gewicht Kg/stuk	Netto m ²	Gewicht Kg/m ²
B-283 A	Ø 6	6000 x 2400	100	58,34	11,97	4,87
B-188 A	Ø 6	5950 x 2350	150	38,32	11,97	3,20
B-385 A	Ø 7	6000 x 2400	100	79,37	11,97	6,63
B-257 A	Ø 7	5950 x 2350	150	52,13	10,82	4,82
B-503 A	Ø 8	6000 x 2400	100	100,49	11,20	8,97
B-335 A	Ø 8	5950 x 2350	150	64,9	10,82	6,00
B-636 A	Ø 9	6000 x 2400	100	126,95	11,20	11,33
B-424 A	Ø 9	5950 x 2350	150	81,99	10,82	7,58
B-785 A	Ø 10	6000 x 2400	100	156,96	11,20	14,01
B-524 A	Ø 10	5950 x 2350	150	101,37	10,82	9,37
B-1131 A	Ø 12	6000 x 2400	100	210,99	9,72	21,71
B-754 A	Ø 12	5950 x 2350	150	138,53	9,72	14,25

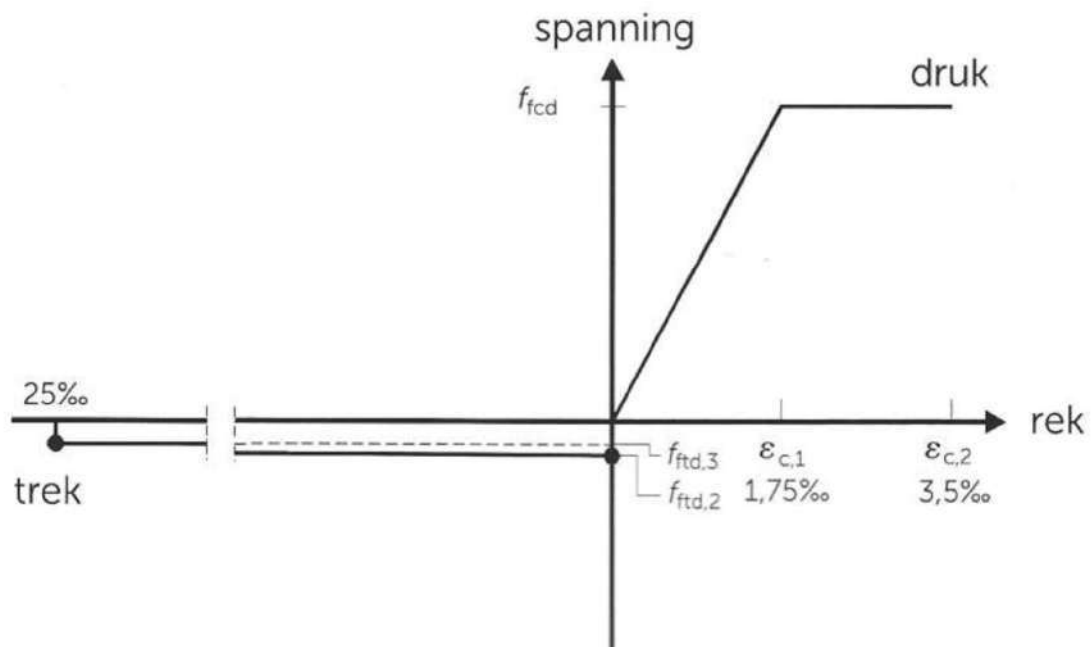
Tabel 16; Beschikbare B-Wapeningsnetten. (Holterman Wapeningsstaal B.V., z.d.) & (H. van de RIET BOUWSTAAL B.V., z.d.)

Spanning-rekrelatie van staalvezelversterktbeton



Figuur 32; Spanning-rek diagram staalvezelversterktbeton (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019)

Spanning-rekrelatie van staalvezelversterktbeton (vereenvoudigd)



Figuur 33; Spanning-rek diagram staalvezelversterktbeton (vereenvoudigd) (CUR-Aanbeveling 111:2018, 2019)

Interview Bart Wight; Bekaert

Gegevens interviewer en respondent

Interviewer

Naam: Mats Holterman & Rick Nijeboer

Functie: Afstudeerders/onderzoekers

Organisatie: Windesheim

Afkorting voor transcriptie: MH & RN

Datum: 07-03-2024

Respondent

Naam: Bart Wight (Wight, 2024)

Functie: Sales Representative Dramix®

Organisatie: Bekaert

Afkorting voor transcriptie: BW

Opening

Allereerst bedanken MH & RN, BW voor het vrijmaken van de tijd om de vragen te beantwoorden en dat hij daarvoor naar het kantoor van Ten Brinke is gekomen. Vervolgens legt MH uit wat het onderzoek inhoudt.

Inhoudelijk

MH: Ons onderzoek gaat over de meest optimale vloer op palen. Vanuit school hebben wij ook de opdracht gekregen om daar een duurzaamheid aspect aan te koppelen. Met verschillende onderdelen moet rekening gehouden worden zoals krimp, paalafstand, dikte vloer, enzovoort. Wij hebben vanuit school en Henk de vraag gekregen, of wij ook staalvezels mee willen nemen in de tool, vandaar dat wij u hebben gevraagd om meer uitleg te geven. Wij hebben het op school nog nooit over staalvezels gehad.

BW: Bekaert is heel goed in het trekken van draad. Wij kopen walsdraad in. 5,5; 6,5 millimeter in diameter en dat trekken wij tot een kwaliteit waar een ander iets verder mee doet als halffabricaat. Het bijkomend voordeel is dat als je aan een draad gaat trekken, dat je de vezels eigenlijk in de richting waarin je trekt oriënteert. Het wordt dus in die richting heel erg sterk. In de andere richting wordt het vaak wat brosser. Voor een staalvezel wil je graag dat die sterk is in één richting, dus dat is geen probleem. Maar een champagnedraad wat om een fles heen zit, moet je met de hand los kunnen draaien zonder dat ie breekt. Wij maken ook draad voor ruitenwissers hoe gek het klinkt, want platdraad is ook draad. Dat is waar we heel goed in zijn. In het begin hebben wij 6,5 millimeter en het dunste wat wij kunnen trekken, gewoon koud vervormen is één micron. Dat is dunner dan een menselijk haar.

RN: Gebruiken jullie dat ook dan?

BW: Ja, in de filtratietechniek en kogelvrijvesten. Je moet je zo voorstellen het is gewoon echt een draad trekken, dus echt koud vervormen. Je kunt uiteraard niet koud vervormen naar één micron. Ze kunnen het trekken tot 0,2 millimeter en dan maken ze een bundel van een flink aantal draden. Daar gaat een coating overheen en die gaat opnieuw door het proces heen. Ze trekken dus weer opnieuw een draad tot 0,2 millimeter en dan vervolgens haal je de coating erom weg en dan houd je dus ragfijne draadjes over.

MH: Welke sterkte gaat het dan naartoe? Het moedermateriaal is gewoon 235?

BW: Pisbakkenstaal, maar goed uiteindelijk kijk naar de filtratie dat heeft geen sterkte nodig.

MH: En de staalvezel dan?

BW: De staalvezel ga je, hangt een beetje af van het koolstofgehalte van het draad zelf. We beginnen inderdaad met pisbakkenstaal. De normale staalvezels trek je ongeveer naar 1200 N/mm² en als je hoog

koolstofdraad hebt dan ga je naar 2400 N/mm². Wij hebben zelfs high carbon draden die over de 3000 N/mm² heen gaan.

RN: Ik zag op de site dat jullie een gecoate en een niet gecoate variant hebben.

BW: Ja, een verzinkte en niet verzinkt. Kom ik zo nog op terug. Het principe van wapening in beton. Als je er helemaal niks in stopt, dan is het beton natuurlijk gewoon bros. Als je er veel in stopt dan zie je dat er veel meer scheuren mogelijk zijn. Hoe meer vezels je erin stopt, hoe meer energie eigenlijk zo'n plaat op kan nemen. Het principe van gewapend beton is, je kan er nog zoveel wapening in je beton stoppen als je wilt maar wat moet er eerst gebeuren?

MH: Eerst moet beton treksterkte.

BW: Eerst moet beton scheuren en dan pas gaat de wapening werken. Dus als je een volledig niet gescheurde doorsnede ziet, stop je de wapening er voor niks in. Wat je eigenlijk wil is dat op het moment dat beton scheurt dat er een wapening aanwezig is die gelijk actief zeg maar de krachten op gaat nemen. Beton is goed in het opnemen van drukspanningen het is slecht in het opnemen van trekspanningen. Daar stop je dus wapening voor in. Hoewel het verschil tussen staalvezelbeton en traditioneel gewapend beton, is dat je bij traditioneel gewapend beton splits je het echt dus beton voor de druk en staal voor de trek. Bij staalvezelbeton reken je het als een homogeen materiaal, wat in staat is om druk- en trekkrachten op te nemen. Het uitgangspunt bij staalvezelbeton is dat een vezel eigenlijk nooit mag breken. Als een vezel breekt, krijg je een soort schokeffect in je beton en dat wil je ten alle tijden voorkomen. De 3D vezel is zo gemaakt dat wanneer de spanning in draad te hoog oploopt, het haakje vervormt en de vezel maximaal uit het beton trekt. Dan heb je de maximale krachtsoverdracht tussen de vezel en het beton. Sinds 2010 zijn wij begonnen met 4D en de 5D vezel. Het klinkt heel stom, maar als je er een haakje extra aan geeft moet je dus meer moeite doen om de vezel uit het beton te trekken. Dus kun je er meer krachten mee opnemen en als je er dus een dubbele verankering aan meegeeft moet je nog meer moeite doen of nog beter gezegd, krijg je hem er helemaal niet meer uit. Die zit zo goed verankerd, die krijg je er niet meer uit. Dat betekent dus wel als ie niet mag breken en hij zit volledig verankerd dat ie dus een bepaalde rek moet kunnen hebben. De 5D vezel, dat is een hoog koolstofdraad, die op de hele hoge treksterkte van 2300 N/mm² ook nog een rek heeft van 6%. De 5D vezel is veel stugger dan de 3D vezel. De 5D vezel is een veerkrachtige vezel. Dat is zijn voordeel, maar ook zijn grootste nadeel.

MH: Dat verschil komt puur uit het materiaal waarvan de vezel is getrokken?

BW: Ja, je basismateriaal is duidelijk anders. Het koolstofgehalte is anders. Het proces op zich is hetzelfde, alleen je begint van een ander koolstofgehalte. Nou afhankelijk van hoelang je eraan trekt, gaat het verschillen van treksterkte in de draad, dus de verlenging van de draad, de vorm, de lengte, de diameter en ook de lengte-diameterverhouding. Hoe hoger de lengte-diameterverhouding is, hoe meer vezels je per kilogram hebt, hoe beter de prestatie van de vezel is. Je doseert eigenlijk per kilogram en je kan je voorstellen 25 kilo van een hele dikke vezel. Als je een staaf rond 10 hebt en je gooit er een paar in of je hebt hele veel kleine dunne vezeltjes is dus de kans dat er een vezel op de plek waar je een scheur nodig hebt. Hoe fijner verdeelt netwerk, hoe groter de kans dat je ook daadwerkelijk een vezel hebt die actief is.

RN: Het beste is dus een lengte-diameterverhouding die klein is.

BW: Nee hoog. Een hoge lengte-diameterverhouding presteert beter dan een lage lengte-diameterverhouding.

RN: Wanneer je een hoge lengte-diameterverhouding heb je er dus meer inliggen per kub beton?

BW: Ja. De 65/60 die wij heel veel gebruiken in vloeren geeft 3200 vezels per kilo. De 80/60, die eigenlijk veel beter zal presteren in de vloer, die geeft 4600 vezels per kilo. Is dezelfde lengte, alleen kleinere diameter. Dus je hebt veel meer vezels per kilogram. Je hebt een veel fijner netwerk, maar daardoor ook meer kans op vezels aan de oppervlakte. Dat is het spelletje. Wat je vaak ziet is dat wanneer je naar een hoge lengte-diameterverhouding, je de kilogram naar beneden probeert je brengen, zodat je uiteindelijk wel een goed netwerk krijgt met minder vezels. Minder kilogram, minder CO₂.

MH: De lengte van die vezels, want ik had ergens gelezen dat het aanbevolen wordt om 1,5 keer de lengte maaswijdte van je net als je hybride doet. Hoelang worden die vezels?

BW: 60 millimeter is de langste vezel.

RN: Dus met een net om de 100 kom je altijd weg.

BW: Ja. In het begin maakte wij wel vloeren met een net om de 150, maar hoe fijner je net is, hoe beter het voor je scheurwijdte is. Vaak pakken wij een netje rond 7 om de 100, dat is vaak wel voldoende, in combinatie met 30 tot 35 kilogram van de 4D vezel. Daar worden de meeste vloeren mee gemaakt.

MH: En dan heeft die zo'n grote momentcapaciteit de vloer dan dat die het optredend.

BW: Ja. Afhankelijk natuurlijk van de belastingen en je paalraster. De 3D vezel heeft een korte rekperiode, voor de 4D ligt ie wat hoger en voor de 5D is de rekperiode duidelijk het hoogst.

MH: 6%, dat is 60‰ rek.

BW: Maar alleen maar op die hele hoge treksterkte, dus niet voor die tijd. Op die hele hoge treksterkte gedraagt ie zich een beetje als een elastiek.

De B staat voor blank staal, de G staat voor glued dus verlijmd en de eerste G kan staan voor verzinkt. Je hebt of BG of GG en GG is dan verzinkt.

RN: Wat is dan het voordeel van zo'n gecoate vezel ten opzichte van een niet.

BW: Roestvorming. Het is van oorsprong piskakkenstaal, dus op het moment dat het buiten ligt dan gaat corroderen. Voor een vloer heeft het geen zin om een gecoate vezel toe te passen, omdat je rijdt er tien keer overheen met de heftruck en de zinklaag is er af en roest ie alsnog. Hoe zit het dan met betonrot. Als een wapeningsstaaf rond 10 als die aangetast wordt door de dekking van het beton heen, dan wil zo'n staaf 6 tot 7 keer de diameter toenemen. Daardoor ontstaan zulke hoge trekspanningen in het beton. Dat kan het beton niet opnemen. Dan springt eigenlijk de dekking van de wapening af. Een staalvezel wil ook wel 6 tot 7 keer de diameter toenemen, maar kan de kracht niet ontwikkelen, want hij is maar heel dun, om het beton te laten springen. Een vezel aan de oppervlakte zal verkleuren en dan houdt het op.

MH: Wat is de reden dat jullie de vezels verlijmen.

BW: Hele goede vraag. Vezel tot een lengte-diameterverhouding van 50 die kun je heel goed los in het beton gooien. Die hebben namelijk de neiging om zich als water te gedragen in het beton, dus die verspreiden zich razendsnel. Vezels met lengte-diameterverhouding boven de 50 hebben de neiging om aan elkaar te blijven plakken en ballen te vormen. Om dat te voorkomen verlijmen wij de plaatjes, want die plaatjes hebben weer een lengte-diameterverhouding veel kleiner dan 50. Dus als je die plaatjes in het beton gooit verspreiden die door het beton heen. Door het schuren en de vocht komen ze los van elkaar, maar dan zijn ze al verspreidt. Eenmaal verspreidt kruipen ze niet meer naar elkaar toe. Wij verlijmen de vezels om het doseren te vergemakkelijken.

MH: Gaan die vezels naar betoncentrale of gaan die naar de bouwplaats?

BW: In Nederland gaat bijna alles naar de betoncentrale. De vezels komen daar meestal in zakken van 20 kilo.

Voordelen van staalvezel; je hebt een bepaalde momentcapaciteit, het is snel en makkelijk, het is kosteneffectief, zit homogeen door het beton heen en het is heel duurzaam. Duurzaamheid heeft er ook mee te maken dat als je een traditioneel gewapende vloer hebt, dat er in de bovenste drie centimeter geen wapening zit, dat is gewoon je dekking. De carbonatiediepte is met staalvezelbeton veel minder diep dan met traditioneel gewapend beton.

RN: Als je een vloer volledig uit staalvezel hebt, heb je dan ook geen dekking?

BW: Nee, je vezels komen tot aan het oppervlak dus hoe wil je dat voor elkaar krijgen? Tegenwoordig is duurzaamheid een heel groot woord. Staalvezels of traditionele wapening hoeveel gram CO₂, ik zeg altijd van staal is staal. Of ik nou een kilogram wapening heb of een kilogram staalvezel, het zal mekaar echt niet heel veel ontlopen. Het is natuurlijk wel zo dat als je met staalvezel minder kilogram nodig hebt, ga je besparen. Vuistregel is één kilogram staal is één kilogram CO₂. Een kub beton is 185 kilo CO₂. Als je beton gaat besparen, heb je de snelste besparing van CO₂.

Hoe komen je aan de materiaaleigenschappen van je staalvezelbeton, nou dat is eigenlijk. De meest simpele methode die daarvoor gebruikt wordt, zijn balk testen. Je maakt een balk, ik maak ze altijd 600 millimeter lang. 15x15x60 centimeter, dat zijn vier kubussen achter elkaar. Daar gaat beton in, met het materiaal dat je wilt testen. In ons geval is dat natuurlijk staalvezels. Die ga je dan op een vervorming gestuurde bank testen. Bij een vervorming gestuurde bank stuurt de vervorming de kracht aan. Dus dat betekent dat als er een scheur ontstaat, dat de kracht. De vervorming gaat in één keer door, dat de kracht afneemt. Zo krijg je een krachtsvervorming diagram. In Nederland hebben wij de CUR36 en de CUR111 voor het berekenen van vloeren met staalvezels. De TR34 en de modelcode en CUR111 maken allemaal gebruik van de Europese test methode van staalvezelbeton en dat is de NEN-EN14651.

De CMOD zijn residuele waardes die je haalt bij 0,5; 1,5; 2,5 en 3,5 millimeter vervorming. Bij 0,5 noem je het Fr,1; bij 1,5 is het Fr,2; bij 2,5 de Fr,3 en bij 3,5 de Fr,4. Dit zijn buig-trekwaardes, maar voor de sommetjes moet je gebruiken maken van een trekspanning. Daarvoor zijn conversiefactoren. Die conversiefactoren hangen af van welk voorschrift er gebruikt wordt. De modelcode maakt gebruik van de Fr,3. De maximale rek die je wilt hebben is 25‰. Wat stel je dan gelijk aan die 25‰, is dat 3,5 millimeter vervorming of is dat 2,5 millimeter vervorming in een test balkje. De moderne rekeningregels, en zo komt ie later ook in de eurocode te staan, die 2,5 millimeter vervorming stellen wij gelijk aan 25‰ rek. Dat is dus de Fr,3.

MH: Dan $f_{r,3}$ was UGT, dus je zit naar 25‰ in de UGT te kijken terwijl die vezels 5D kon 60‰ rek opnemen voordat die het begaf.

BW: Als je er zo naar kijkt wel ja.

MH: Dus dan zit je nog veilig.

BW: Ja slim.

4D gebruiken wij heel veel in combinatie met traditionele wapening in vloeren.

RN: Stel je zou alleen 5D vezels gebruiken, heb je dan nog traditionele wapening nodig?

BW: Nee. Je kunt uiteindelijk een spanning-rekdiagram maken. Als je die dan hebt, dan heb je dus eigenlijk je druk tak van het beton. $\sigma_{1,d}$ is je eerste scheursterkte van je beton, nou dat is lastig rekenen dus dat verwaarlozen wij maar even. Dan heb je je $\sigma_{2,d}$ dat is afgeleid van je $f_{r,1}$. Dan heb je je $\sigma_{3,d}$ en dat is afgeleid van $f_{r,3}$ in dit geval. $\sigma_{2,d}$ is $0.45 \cdot f_{r,1}$ en $\sigma_{3,d}$ is $0.37 \cdot f_{r,3}$ komt uit de CUR-111.

RN: Is de 4D vezel jullie meest gangbare vezel?

BW: Voor vloeren wel ja.

Dwarskracht heeft natuurlijk een hele grote bijdrage aan je dwarskrachtcapaciteit van je vezels. Als je dan bijvoorbeeld pons is natuurlijk ook een vorm van dwarskracht. Wat je dan ziet bij de toepassing van staalvezel, is dat je ponskegel nog een keertje halveert. Dus die vlakt nog verder af.

MH: Er wordt nog meer beton.....

BW: Geactiveerd door de staalvezel. De hellingshoek wordt nog vlakker, dus heb je nog meer ponscapaciteit. Nog een voordeel van staalvezel, de ponscapaciteit. Bij staalvezelbeton heb je minder wapening nodig dan bij een traditioneel gewapende vloer om dezelfde scheurwijdte te krijgen. Bij staalvezelbeton heeft het beton nog een rest trekspanning wanneer het beton scheurt. Staalvezel is ook heel handig voor je SLS-momenten. Verschillende gemeentes zeggen ULS af wapenen met traditionele wapening en staalvezel voor je SLS.

Hoe controleer je nu of er genoeg staalvezel in het beton zit. Dat kan door een wash out test. Hoe doen ze dat? Neem een vaste hoeveelheid beton. Ik pak altijd een luchtvat, dat is 8 liter, en een pijpmagneet. Dat is een magneet met een trechter erboven. Daar giet je al het beton door en die magneet pakt de vezels eruit. Pluk je ze er af, drogen, wegen, vermenigvuldigen en dat weet je zoveel gram 8 liter $100 \cdot 125$ en dan heb je een kub. In de BRL staat dat een goed homogeen beschouwt als gemiddeld je niet meer dan 5% afwijkt van de opgave en een individueel monster mag niet meer dan 20% afwijken. Het is een steekproef. Omdat wij naar nog meer constructieve toepassing willen is nu ook het belang van een goede homogeniteit wezenlijk. Wij willen uiteindelijk naar verdiepingsvloeren toe met staalvezelbeton. Maar dan moet je zeker weten dat wanneer je 300 kilo in een truckmixer stopt, dat niet uit de eerste kub 290 kilo komt en de rest heeft dan bijna niks. Dus je wilt meten. Wij hebben een apparaat ontwikkeld een meetgoot die je dus achter de truckmixer kan hangen die volcontinu kan meten wat de homogeniteit is van het beton wat eruit komt. Het is een elektromagnetisch veld dat je opwekt en staal verstoort het elektromagnetisch veld. Dus hij meet de verstoring gedurende het lossen.

MH: Wordt die genoeg verstoord, komt er genoeg doorheen.

BW: Ja en dan moet je vooral tegen de truckmixer zeggen dat ie aan het eind van de menging niet zijn schep door de goot heen haalt.

MH: Je staalvezel in de gedrukte zone neem je niet mee in je betondruksterkte?

BW: Nee, in principe hebben de staalvezel geen invloed in de druksterkte. Critici zouden dan zeggen, maar dan heb je 50% van de vezels op de verkeerde plek zitten. Een gescheurde doorsnede staat 90% onder trek.

Goed, vloeren. Door de belasting zal een gewone betonvloer bros bezwijken. Voeg je daar vezels aan toe dan kunnen ze alweer meer aan. Maar op een gegeven moment bleken die zaagsneden toch lastig. Uiteindelijk kon je met een hogere dosering staalvezels kan je naar vloeren van maximaal 50x50 meter met alleen maar staalvezels zonder ze in te hoeven zagen.

Die elementen zaag je voor een derde van de hoogte in om de plaat lokaal te verzwakken zodat je zeker weet dat hij op die plek gaat scheuren en hij visueel dus mooi blijft. Als je de 5D vezels in een balkje stopt en je zaagt hem in. Dan krijg je dus, ondanks dat die al gescheurd is, meerdere scheuren. Ondanks dat hij bewust verzwakt is, is er ergens anders in de balk nog een zwakkere doorsnede.

MH: Hoe komt dat? Door de oriëntatie? De verdeling van de vezels?

BW: Dat komt door de verdeling van de vezels. Als er ergens net wat minder vezels in zitten gaat hij daar scheuren

RN: Nu zijn er nog wat andere vragen die nog niet helemaal aan bod zijn gekomen. Wat voor ons natuurlijk ook van belang is. Hoeveel kosten de vezels? Hebben jullie een kiloprijs?

BW: Reken even gemiddeld met 1,75 per kilo.

RN: En dat is voor 4D?

BW: Voor 4D ja.

RN: En voor de 5D?

BW: Zeg maar 2,5 euro. En de 3D zit euro en een kwartje.

RN: Zitten daar ook de verwerkingskosten bij in?

BW: jajaja daar zitten ook verwerkingskosten bij in.

RN: We hadden op de site gezien dat voor waar wij dan mee bezig zijn. Puntvormig ondersteunde vloeren, dat 3D niet kon.

BW: Nee klopt, dan pak je de 4D. De 4D in combinatie met een netje.

MH: Wat zijn de waarde Fr,1 en Fr,3? Hoe komen jullie aan die waarden?

BW: Die komen voort uit testen.

RN: Hebben jullie daar ook een tabelletje van ofzo?

BW: Dat is onze databank. Kan ik wel even laten zien, maar ik geef hem niet af. We hebben voor iedere vezeltype, per dosering, per betonkwaliteit, de Fr,1; Fr,2; Fr,3 en Fr,4 waardes.

MH: Maar bij het berekenen gebruik je toch alleen de Fr,1 en Fr,3?

BW: Ja maar ze komen toch uit de proeven. De waardes worden 2 keer per jaar gecontroleerd en aangepast waar nodig aan de hand van alle proeven die dat afgelopen jaar zijn gedaan. Ik kan jullie wel een klein knipsel geven van een paar waardes.

RN: Dat zou fijn zijn.

BW: In de tabel staat dus de kwaliteit van de vezel, de dosering en de betonklasse. Maar de betonsamenstelling is ook een groot onderdeel. Als je een grof mengsel hebt heb je weinig ruimte voor de vezels om zich te kunnen oriënteren. Als een mooi fijn mengsel hebt waar alle stapjes mooi keurig zijn opgebouwd. Waardoor die vezel eigenlijk heel goed ingebed is, kun je waardes krijgen die veel hoger liggen.

MH: Dat heeft met je verankering te maken?

BW: Nou ja met de verankering van je vezel in het beton. Hoe mooier het beton opgebouwd is hoe beter het is. Want wat is het zwakste element in het beton?

MH: Zal wel niet cement zijn.

BW: Dus wel. Cementsteen heb je dus nodig om alle onderdelen aan elkaar te plakken. Dus hoe minder cementsteen je nodig hebt, hoe sterker eigenlijk je constructie is. Hoe bereik je dat je minder cementsteen nodig hebt, door zo grof mogelijk toeslagmateriaal te gebruiken. Ook vanuit krimp. Waar vindt de krimp uiteindelijk plaats in je cementsteen, in het hydratatieproces. Hoe minder cement je in je beton hebt zitten hoe minder krimp je in feite dan ook krijgt. Ze zijn nu bezig met veel testen met geopolymerbeton om cement eigenlijk te vervangen en zodoende dus ook je krimp te reduceren.

RN: Dan was er nog wat onduidelijkheid over de benaming. Dus om ff op te helderen, Fr,2 in de CUR is bij jullie de Fr,1.

BW: Ja dat klopt.

MH: Verder was er ook nog een vraag over het berekenen van het moment. Want als wij $1/8 q l^2$ doen komen wij niet op dezelfde waardes. We hebben het hart-op-hart aangehouden van het paalraster en dan komen we op een hogere waarde.

BW: Kan kloppen want wij rekenen niet met het hart van de paal, maar dat de oplegging nabij de rand is. Een oplegging van maximaal 50mm, maar gebruikelijk is 30.

RN: Waarom kiezen jullie er dan voor om hem op 'near pile edge' te zetten en niet op de 'edge'?

BW: Het scheuren van je vloer boven je paal zal eigenlijk nooit exact in het hart van de paal gebeuren en ook niet exact op de rand. Daarom kiezen we voor 'near pile edge' want dat is de werkelijke situatie.

MH: Maar hoe komen jullie nou tot het beste paalraster?

BW: Als wij sonderingen krijgen bepalen we eerst het paal draagvermogen. En daarna kijken we van hoeveel belasting treedt erop en dan ontwerpen we het paalraster aan de hand van het draagvermogen van de palen.

MH: Dus nu ontwerp je je paalraster aan de hand van je paal draagvermogen. En hoe zit het met het berekenen van de capaciteit van een hybride vloer? Want we weten nu wat je vezels zelf aan capaciteit hebben, maar hoe zit het met het zwaartepunt van je vezels en dus je arm?

BW: Je neemt de totale hoogte van de vloer. Daar haal je je gedrukte zone vanaf, zodat je alleen nog maar de hoogte van de getrokken zone overhoudt. Die deel je door 2 en dan tel je daar de hoogte van je gedrukte zone weer bij op. Zo krijg je de arm waarmee je moet rekenen. Maar dan moet je ook nog letten op welke manier je aan het berekenen bent. Want deze manier is volgens de CUR-aanbeveling maar je kan het ook berekenen doormiddel van de modelcode. Die is nog wat conservatiever. De modelcode werkt met iets andere conversiefactoren en ze beperken de rek. Daardoor komt het verschil.

RN: Ten opzichte van de CUR rekenen jullie dan met $Fr,3$ omdat dat ook de toekomst wordt in plaats van de $Fr,4$?

BW: Ja

MH: In jullie berekening zag ik een factor k_{char} staan, wat is dat voor factor waar komt die vandaan?

BW: Dat is een factor om van gemiddelde waardes naar karakteristieke waardes te gaan. De gemeten waardes zijn gemiddelde waardes uit balktesten en je moet dan naar een karakteristieke waarde toe. De CUR-111 heeft gezegd dat de testen doen we op balken van 150×150 , terwijl de vloeren zelf oneindig groot zijn. Omdat de vloer oneindig groot is en dus heel veel herverdelingscapaciteit in zo'n vloer aanwezig is mag je voor vloeren op palen de gemiddelde waarde rekenen als karakteristieke waarde. En is k_{char} dus 1.

RN: En die andere factoren zoals 0.45 en 0.37 wat zijn dat voor factoren dan.

BW: Dat zijn conversiefactoren. Hoe je van een buigtrekspanning naar een trekspanning gaat.

Afronding

BW: Hebben jullie nog meer vragen?

MH: Mijn lijstje is afgerond.

RN: Wij hebben niks meer. Al onze vragen zijn beantwoord. Heel veel nieuwe kennis. Het is een heel mooi product. Je kunt er heel veel mee.

BW: Er is een reden waarom ik het al 21 jaar volhou.

Interview Niki Loonen; ABT

Gegevens interviewer en respondent

Interviewer

Naam: Mats Holterman & Rick Nijeboer

Functie: Afstudeerders/onderzoekers

Organisatie: Windesheim

Afkorting voor transcriptie: MH & RN

Datum: 08-03-2024

Respondent

Naam: Niki Loonen (Loonen, 2024)

Functie: Senior-adviseur

Organisatie: ABT

Afkorting voor transcriptie: NL

Opening

Allereerst bedanken MH & RN, NL voor het vrijmaken van de tijd om de vragen te beantwoorden. Vervolgens legt MH uit wat het onderzoek inhoudt.

Inhoudelijk

MH: Ons onderzoek gaat over de meest optimale vloer op palen. Vanuit school hebben wij ook de opdracht gekregen om daar een duurzaamheid aspect aan te koppelen. Dus toen zaten wij te kijken hoeveel CO₂-uitstoot komt er nou bij het storten van beton en ja dat is heel breed, dus hebben wij overal zitten zoeken.

NL: Loop maar even mee. Laat ik even wat zien.

NL: Hiermee maak je beton. Zand, grind, cement en water (Figuur 34). Als je extra grondstoffen toevoegt (Granulaat, Hoogovenslak, Clim@Add (koolstof), Carbonated Beton (cementresten), NatriumSulfaat, Hoogovenslak grof, Freesand) krijg je dit, CO₂-neutraal beton (Figuur 35).



Figuur 34; Samenstelling beton. (Loonen, 2024)



Figuur 35; Samenstelling CO₂-neutraal beton. (Loonen, 2024)

RN: Het heeft ook een andere kleur.

NL: Ja dat komt door de koolstof.

NL: We weten dus hoe wij CO₂-neutraal beton moeten maken, het is alleen nog heel erg ingewikkeld zoals je ziet.

RN: Ja er komen heel veel grondstoffen bij kijken.

NL: Komen een heleboel grondstoffen bij kijken. We vervangen een deel van de grind door granulaat. We vervangen een deel van het zand door zand van de slimme breker. In aanvulling op het normale hoogovencement halen we dus wat van uit en doen we een beetje hoogovenslak erbij, alleen dan gaat de reactiesnelheid naar beneden. Portlandcement reageert sneller dan hoogovenslak, dan voegen al hele fijne hoogovenslak toe om het een beetje te helpen zodat het sneller reageert. We stoppen er een alkalische activator bij om te zorgen dat het beton sneller in pH stijgt en daardoor de slakken wat sneller reageren zodat wij in ieder geval op tijd kunnen ontkisten. Dan doen wij er daarna nog twee spulletjes bij die negatief zijn in CO₂.

RN: Negatief zelfs.

NL: Ja, met de eerste bijgevoegde grondstoffen zit je nog steeds op een plus en die plus is ongeveer 83 kilo.

RN: Per kub?

NL: Ja, normaal beton zit op ongeveer 200 kilo per kub en door alles toe te voegen komen wij op een uitstoot van nul kilo per kub.

RN: Wordt het CO₂ neutraal beton al toegepast?

NL: Wij kunnen alleen nog maar kubussen maken. Het fijne hoogovenslak is er nog maar in kleine hoeveelheden.

RN: Dat wordt nog niet gemaakt in de hoogovens?

NL: Nee, nee, nee dit maal je gewoon fijn. Hetzelfde materiaal als de hoogovenslak. De fijne korrels zijn gemiddeld de helft van de normale korrels. Het heeft twee voordelen dat de korrels kleiner zijn. Eén is dat het sneller reageert, maar je kan er niet te veel van het fijne materiaal toevoegen want dan is er meer water nodig. Het komt allemaal heel precies. Als je beton breekt krijg je grind, zand en cement weer terug als je dat slim breekt. Dan heb je oude cement en beton kan nog carbonateren, dus kan eigenlijk CO₂ opnemen in de cement resten. Dus als je het gebroken cement in een vat stopt en je stopt daar heel veel CO₂ bij onder druk, en je mengt of blaast het rond dan neemt het materiaal dus de CO₂ op. Elk ton van dit materiaal heeft dan ongeveer 200 kilo CO₂ geabsorbeerd. Als je 100 kilo van dit materiaal erin stopt haal je er 220 kilo van je CO₂ af. Dat is ook het maximum wat je kunt doen, want anders heb je weer te veel poedertjes. De Clima@Add is de laatste maar ik vind dit wel een klein beetje valsspelen.

RN: Valsspelen?

NL: Als je biomassa verbrandt laten we zeggen oude takken die in een oven verbrandt dan krijg je CO₂ vrij en warmte alleen dan zeggen we dat het CO₂ neutraal is omdat het biomassa is en anders toch zou verrotten en CO₂ zal uitstoten. Als je nu pyrolyse doet in plaats van verbranden zeg maar houtskool van maakt, dan haal je wel energie eruit maar koolstof blijft koolstof. Clima@Add is pure koolstof. Wij hebben ervoor gezorgd dat die pure koolstof geen CO₂ is. Het is ook weer een fijn poedertje. Dit is pure koolstof zeg maar ook waar je potloden van maakt. Wanneer de pure koolstof te lang in contact is met zuurstof, wordt het weer CO₂. Dus je moet het immobiliseren. Wanneer het in beton zit, kan de zuurstof er niet meer bij en kan het geen CO₂ meer worden. Dus met biomassa haal je koolstof uit de atmosfeer en wordt het in het beton geïmpropt.

RN: Als je dat beton dan weer breekt met een slimme breker wat gebeurt er dan met de koolstof?

NL: Dan moet ervoor gezorgd worden dat de poeder relatief snel in nieuw beton komt.

RN: Dit poeder zit dan nog steeds gewoon in het beton?

NL: Dat komt dan weer terug in die beton finds. Het neemt dan geen CO₂ meer op. Moet weer zo snel mogelijk in beton worden gestopt. De keten moet gesloten blijven. Elke kilo Clima@Add is -2,2 kilo CO₂ dus gaat heel snel. En dan zit je op 0 kilo CO₂ uitstoot. Wij zijn nog met meer technologieën bezig die zorgen voor 0 kilo CO₂ uitstoot, maar het kan al wel.

RN: Wat is dan de reden dat riviergrind nog steeds wordt toegepast in plaats van het granulaat?

NL: Omdat riviergrind goedkoper is. Alles draait om geld.

MH: Elke handelingsstap extra kost natuurlijk ook meer geld.

NL: Ja en een betoncentrale heeft geen zes silo's bij de fabriek staan voor de verschillende materialen. Voor sommige materialen heb je zelfs twee silo's nodig, waardoor je uitkomt op tien silo's en dat heeft een betoncentrale niet. Dus er zullen grondstoffen met elkaar vermengd moeten worden voordat je het in een betonfabriek kan toepassen. Dat zijn allemaal ontwikkelingslagen en dat kost tijd. Dit is een oplossing, maar er zijn meerdere oplossingen op de lange termijn. Voorbij zit in de fabriek voor prefab onderdelen op een uitstoot van 120 kilo CO₂. De ambitie is om 2025 CO₂ neutrale woningen op te leveren.

MH: Als de theorie er nu is, ga je mooi de goede kant op.

NL: Ja dus we hoeven het nu alleen nog maar op te schalen.

RN: Zorgen dat het procesmatig gemaakt kan worden.

NL: Ja. Met alles wat wij erin stoppen voldoen wij gewoon aan de norm. Wij kennen het pad naar 0, maar er zijn meerdere paden. Zo is er een partij bezig om cement te maken van afval. Hetgeen wat uit een vuilverbrander komt, bodem as noemen wij dat, als je daar nog een keer een bewerking op doet door middel van een kunstmatige vulkaan zal ik maar zeggen. Dan maak je zelf gecontroleerde vulkanisch as. Door het gecontroleerd te doen, maak je het effectiever. Om cement te maken heb je een hitte van 1550 graden Celsius nodig. De vulkaan als het ware. Dat doe je door middel van kalksteen, maar je kan hetzelfde

ook doen met hetgeen wat uit een vuilverbrander komt. Doordat het gecontroleerd is kun je zelf de koeling bepalen en de maling waardoor je een kwalitatief beter product krijgt.

RN: Want zoals dat blokje, welke sterkteklasse is dat dan wat jullie gemaakt hebben?

NL: Dat was 24 Newton na 24 uur bij 27 graden Celsius. C40/45 haalt het uiteindelijk. Er zit geen werking op sterkte. Het kan nog niet vandaag, maar in kleine stapjes probeer je daar te komen.

RN: De ontwikkeling is nog steeds mooi bezig.

NL: Ja er moet nog steeds heel veel gebeuren, want de kans bestaat dat de regelgeving rondom het uitstoten van CO₂ steeds strengen wordt. Maar gelukkig weten wij nu hoe het eruit ziet om klimaat neutraal beton te maken. Wij weten dat het kan, wij weten hoe het moet, nu moeten wij het alleen nog doen. Dan is het beton CO₂ neutraal, maar nog niet het staal. Ook voor staal weten wij hoe dat moet. In Zweden zijn zij nu de eerste waterstof staalfabriek aan het bouwen. Wij hebben natuurlijk al heel veel recycling staal. Recycling staal wordt met stroom gemaakt. Het wordt dan gemaakt in een electric arc furnace in plaats van een blast furnace (hoogoven). Omdat recycling staal in een electric arc furnace wordt gemaakt, wordt het duurzamer naarmate onze stroom ook duurzamer wordt.

RN: Dus hoe meer zonne-energie wordt opgewekt, hoe duurzamer het staal.

NL: Dus hoe meer zon en wind of kernstroom of kernfusiestroom op termijn. Hoe meer CO₂ neutrale energie bronnen/stroom productiebronnen er zijn, hoe minder impact elk kilo staal heeft. Dat betekent dat je wapeningstaal dus ook duurzamer wordt. Dat is wel grappig want in Nederland is het ongeveer één kilo CO₂ per kilo staal en in Engeland is het 0,7 kilo CO₂ per kilo staal. Hoe kan dat nou, nou in Engeland hebben ze veel meer kernstroom. Dus hun stroom heeft een lagere CO₂ impact dan onze stroom. Wij hebben nog relatief veel kolenstroom en wij halen nog relatief veel recycling staal uit Duitsland waar nog meer kolen worden gebruikt. De energiemix waar wij onze recycling staal uit halen is minder duurzaam dan de energiemix van bijvoorbeeld de Engelse of de Fransen. In Frankrijk is het nog minder, want zij maken nog meer gebruik van kernstroom. Als je uit Frankrijk je recyclingstaal haalt, is de impact nog lager.

RN: Waarom halen ze al het staal dan uit Duitsland?

NL: Goedkoper en of beschikbaarheid. Als de Fransen alles wat ze maken zelf kunnen gebruiken, waarom zouden ze het dan exporteren. In Nederland wordt die productiecapaciteit ook verhoogd, maar betekent wel dat je die duurzame energie. Er is bijvoorbeeld een bedrijf in de Eemshaven bezig. Waarom de Eemshaven? Want daar komen alle stroomkabels van Denemarken en Noorwegen binnen. Daar staan ook een paar datacentra. Dat is een knooppunt waar veel duurzame energie naar je toe kan komen. Dicht bij zee en veel zonnepanelen in Groningen. Dus ook bij staal weten wij de oplossing en dan heb je eigenlijk alleen nog maar transport. Dat is eigenlijk de derde grote factor van impact van beton en staal. Vrachtwagens elektrisch en schepen zouden dan naar waterstof toe kunnen. Waterstof komt eigenlijk pas echt op gang over een decennium.

MH: Want daarvoor ben je een grote productie nodig en voordat dat eenmaal loopt.

NL: Groene waterstof heb je dus groene energie voor nodig. Je kunt pas groene waterstof pas maken als er groene stroom over hebt. Op dit moment zitten wij nog niet eens op het punt dat wij, nou een paar keer per jaar hebben wij dat wij eventjes.

MH: In de zomer als het hard waait.

NL: Ja als de zon schijnt en waait op zee dan is de stroomprijs midden op de dag een keer negatief. Daarvan zou je waterstof moeten maken, maar je kan geen waterstoffabriek maken om drie dagen in het jaar waterstof te produceren. Anders heeft het niet zoveel zin om waterstof te maken want ergens in die overzetting verlies je de helft, dus kun je het beter direct gebruiken dan dat je er waterstof van maakt. Maar goed de eerste groene waterstoffabriek op de Maasvlakte wordt nu gebouwd voor Shell. Dus je ziet wel dat dat wel opgeschaald gaat worden. Uiteindelijk weten wij hoe wij op nul moeten komen voor zowel transport, als voor staal, als voor beton. Voor beton was het eigenlijk de laatste dat we wisten hoe komen we nou op nul. Hopelijk zijn we met beton sneller dan met waterstof.

MH: Het wordt een race en hopelijk een competitieve race want dan ben je er eerder.

NL: Ja en dus de regelgeving zorgt voor de competitie zoals je MPG en je MKI moet ervoor zorgen dat het een wedstrijdje wordt om bij te blijven. Goed was jullie vraag?

RN: We hadden als vraag omdat we een beetje onderzoek willen doen naar. We zagen op de site dat jullie ook al de meeste optimale paal vloer ontwerp een beetje kunnen maken.

NL: Ja, ja, ja. Kijk je begint met refuse, geen vloer maar dat is lastig want dat is niet de vraag. Daarna is het reduce. Wij zijn hier aan het dweilen.

MH: Met de kraan open.

NL: Maar wel met de kraan open. Dus je moet beginnen met oke hoe kunnen wij die kraan zo ver mogelijk dicht draaien. Dus hoe kunnen wij met zo min mogelijk materiaal zo veel mogelijk draagcapaciteit creëren. Dat is een belangrijk deel van de opgave. Jullie zijn opleiding voor constructeur neem ik dan aan.

RN: Ja.

NL: Dus daar hebben jullie een hele grote verantwoordelijkheid van hé hoe kunnen wij nou ervoor zorgen dat we zo min mogelijk materiaal gaan gebruiken. Noem eens wat voorbeelden.

MH: Paalraster verkleinen. Dat je dus een smallere vloer kan.

NL: Ja, dus met name de overspanning verkleinen waardoor de paalreacties kleiner worden en eigenlijk. Op magazijnen komen vaak stellingen te staan en die stellinglasten zijn maatgevend op een gegeven moment. Dus je probeert de reactiekrachten van de palen in de buurt te krijgen van de dubbele stellingpootlast. Dat is ongeveer het meest efficiënt. Liever de paallast ietsje hoger dan de, want jullie hebben het op palen hé. Op staal is natuurlijk efficiënter dan op palen. Maar goed dat kan niet overal in Nederland. Dat is inderdaad een goede, dat is één en twee?

RN: Je wapening erop aanpassen. Hoe meer wapening hoe dunner de vloer, maar dan ben je ook weer meer wapening nodig.

NL: Ja, dus je moet gaan spelen met je engineering eigenlijk want je wil hem zo efficiënt mogelijk. Ergens moet je een balans zoeken in het paalstramien die efficiënt is ten opzichte van de lasten. Dat zit bij warehouses zo rond de twee meter bij de huidige 5 ton vloeren 50 kilonewton per vierkante meter en 80 à 90 kilonewton puntlast stellingpootlast zit zo rond de twee meter. Het is wel leuk om een proefje te doen. 1,5; 2; 2,5; 3 naast elkaar te zetten.

MH: Je ziet dan ook het verschil.

NL: Dan voor alle vier proberen met dezelfde regeltjes en engineering te doen en zeg je nou dan betekent dit voor paal en betekent dit voor de vloer en dan kun je dus zeggen hoeveel kub beton en hoeveel betonstaal gaat er totaal in, zowel in de palen als in de vloer. Dan kan je het naast elkaar zetten een lijn stramien en impact en die gaat dus omhoog. Heel klein paalraster niet efficiënt, dan op een gegeven moment efficiënt en daarna loopt hij weer op naar minder efficiënt. Wel leuk om te doen voor het afstuderen.

MH: Hopen wij te behalen in juni. Dat we zover kunnen komen dat we die vergelijking tussen de verschillende nou ja afmetingen kunnen krijgen.

NL: Misschien is het handig voor je afstuderen dat je naar puntlasten gaat kijken of dat je zegt ik beperk mij even lekker tot q lasten. Met puntlasten maak je het jezelf verschrikkelijk moeilijk. Vanochtend nog weer met vier man over gezeten.

RN: Hoe gaan we dat doen?

NL: Hoe gaan we dat doen. Dat is gewoon best wel lastig. Eigenlijk zou ik zeggen blijf bij q lasten als het mag.

MH: Dat hebben wij inderdaad meer gehoord.

RN: Ja dat hebben wij meer gehoord ja.

MH: De eerste paar weken hebben wij naar de GTB-tabellen gekeken en daar de momenten in vinden.

NL: GTB-tabellen gebruiken wij eigenlijk ook gewoon.

MH: Ja dat zijn vlaklasten.

NL: Dat zijn vlaklasten en dat vertalen naar puntlasten is. Als je het jezelf dan niet te moeilijk wil maken dan zou je even naar de TR34 kunnen kijken. Dat is een Engelse richtlijn. En daar zit een rekenregel in, in hoe je met puntlasten om kunt gaan in relatie tot. Je rekent eigenlijk de puntlast om naar een lijnlast. En dan ga je vanuit die lijnlast weer een vloer op palen met een vloeilijnenberekening relatief makkelijk controleren. Dus als je iets met puntlasten wilt doen zou ik eigenlijk zeggen pak de rekenregel van de TR34 en maak het je niet te moeilijk. Dit hebben wij vanochtend ook besloten. Het is misschien wel interessant om dat mee te nemen. Ga je echt naar puntlasten kijken, dan moet je namelijk in drie

richting gaan herverdelen om het recht te rekenen wat in de praktijk gebeurt. Als jullie gewoon een SCIA-sommetje maken met puntlasten klappen alle vloeren die wij hier engineren klappen eruit.

MH: Ja heeft dat zo'n groot aandeel?

NL: Ja dus we rekenen heel erg met vloeilijnen. Het probleem is als je lineair-elastisch rekent mag dat niet want dan ga je heel snel over BGT-momenten heen. Wat gebeurt er als een vloer aan de onderkant scheurt, dan neemt de E-modulus enorm af en dan gaat ie dus heel snel herverdelen naar het steunpunt. Die belasting wil gewoon zodra die aan de onderkant scheurt gaat eigenlijk op uitkraging naar de puntlast. En dan wordt die scheur aan de onderkant wordt eigenlijk helemaal niet zo breed. Jij kan in jouw SCIA som die E-modulus niet zomaar verlagen. De TR34 heeft daarvoor een trucje bedacht, omdat hele herverdelen. In feite gaan zij echt naar vloeilijentheorie toe en dat is prima. Je kan geen BGT toetsen op vloeilijentheorie en daar stappen ze even heel gemakkelijk overheen. Kan je wat van vinden, maar is wel gewoon de praktijk en in de praktijk staat er gewoon miljoenen vierkante meter warehousevloer iets wat lijkt op de TR34 of in ieder geval in dezelfde richting redeneert. Dat staat allemaal fantastisch.

RN: Wat dat betreft is Nederland een beetje conservatief qua rekenregels?

NL: Nee, nee.

RN: Nee?

NL: Nee, nee, nee als je in Duitsland iets wil doen ben je echt de Sjaak. Daar zijn de vloeren anderhalf keer zo dik. Minimaal. Wat wij in Nederland doen, pikken ze echt niet in Duitsland. In Engeland dus wel, want die hebben die TR34. Frankrijk wordt ook heel moeilijk. Het hangt echt wel van de plek af. Nederland is zeker niet conservatief. Nederland heeft het hele fijne principe dat wij op basis van gelijkwaardigheid mogen afwijken, dus gelijkwaardigheidsbeginsel. Daar hoeft je in Frankrijk en Duitsland niet mee aan te komen. Frankrijk en Duitsland zeggen dat het niet getoetst of niet gebruikelijk is, maar het werkt wel. Dus Nederland is niet per se conservatief. Wat doe je met je wapening, welke mogelijkheden heb je met je wapening?

MH: We hebben gisteren een gesprek gehad met Bekaert, Bart Wight. Moet je nog de groeten van hebben.

NL: Ja, ja dat dacht ik al wel.

MH: Dus ja hybride wordt natuurlijk gewoon traditioneel en dan gaan wij ook kijken of hybride ernaast kan, want wij hebben nu wel gehoord dat volledig staalvezels dat dat ook kan maar om er zo diep in te duiken dan wordt hij denk ik naar ons te breed.

NL: Ja hybride rekenen. Je hebt CUR 100.

MH: 111

NL: Ohh CUR 111 sorry ja daarmee kan je precies die berekenen. Ik zou even niet naar de ModelCode gaan.

MH: Nee?

NL: Nee dat is iets complexer. Als ik jullie was zou ik mij beperken tot CUR 111. De ModelCode heeft een nauwkeurigheid die je voor de vloeren niet nodig hebt. Leuk om in de literatuurstudie mee te nemen, maar ik zou er niet mee gaan rekenen ik zou lekker voor wat jullie doen de CUR 111 en dan stoppen. De puntlasten lekker TR34 doen. Dan heb je in ieder geval iets met puntlasten gedaan. Het is goed om een stukje literatuurstudie te doen op het gebied van vloeilijnen, want dan kun je uitleggen hoe vloeilijnen werken. Neem de TR34 daar dan in mee en als wij vergelijkingen gaan maken pakken wij de TR34 voor de puntlasten en wij gebruiken, als wij hybride gaan rekenen of vezel gaan wij gewoon gebruik maken van de CUR 111. Dan maak je het jezelf niet te moeilijk.

RN: Maken jullie ze ook wel eens met staalvezels?

NL: Fiber only bedoel je? Ja hybride is ook met staalvezels.

RN: Ja dat.

NL: Wij zeggen hybride en fiber only, want in allebei zit staalvezels. Jein.

RN: Heel voorzichtig.

NL: Ik heb in het verleden twee drie vloeren gemaakt met alleen een netje boven de paal en verder alleen maar staalvezels. Dat is het principe waarbij wij vloeren maakten met alleen maar staalvezelbeton en een klein kopnetje boven de paal.

MH: Voor pons of het steunpuntsmoment?

NL: Boven de paal alleen dus hoofdzakelijk voor het steunpuntsmoment, maar ook om de scheurwijdte te beheersen. Je krijgt krimpspanning boven in de vloer en je krijgt buigspanning boven in de vloer en als je die twee hebt krijg je gewoon te wijde scheuren. Dus op de plek waar je de scheurwijdte wilt beheersen ga je een netje toepassen. Dat werkt constructief prima, scheurvormingstechnisch niet. Scheurwijdte beheersing is gewoon lastig met alleen vezels dat zal Bart jullie wellicht ook al wel gezegd hebben. Nu is Primekss met iets interessants bezig. Die doen iets met beton waardoor het niet meer krimpt.

MH: En? Hoe?

NL: Ja, dat mag ik niet zeggen. Maar zij noemen het chemical post tensioning. Ze stoppen iets in beton wat zorgt voor zwellen en dat zwellen doen ze door vocht te vreten. Ze hebben een soort van inwendige vochtvreter die zwelt na dat je het beton gestort hebt. Doordat die dus vocht opeet krijg je minder uitdrogingskrimp en doordat die zwelt compenseer je de autogene krimp. Het krimpen van beton heeft eigenlijk drie aspecten: autogene krimp, uitdrogingskrimp en thermische krimp. Zomervloeren scheuren veel meer dan wintervloeren. Waarom? In de zomer is het beton warmer als je het stort, daarna koelt het af en krijg je de thermische krimp. Door de vochtvreter is dus veel krimp te verhinderen en dan is de impact nog verder te verlagen want je hele krimpwapeningsverhaal valt weg.

RN: Dan worden staalvezels ook weer meer interessant voor jullie?

NL: Nou ja we gebruiken ze al best veel in hybride vloeren, maar dus dan kan in hybride vloeren op termijn het boven net eruit. Ik weet niet of Bekaert heeft gezegd dat ze bezig zijn met voorspannen? Sigma slab?

MH: Ja, dat heeft hij wel gezegd.

NL: Je sigma slab kan je als alternatief zien. Want de vloeren die we nu maken mogen we over vijf jaar niet meer maken. Want die hebben simpelweg gewoon te veel impact. Dus probeer zo optimaal mogelijk te engineren, staalvezelbeton kan daar absoluut bij helpen, maar zet het ook naast elkaar. Meer vezels, minder vezels, meer traditionele wapening, minder traditionele wapening.

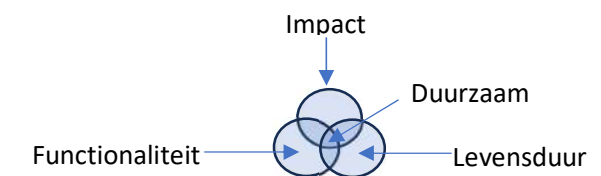
Voor krimp en scheurvorming kijk even naar CUR-aanbeveling 65 die geeft rekenregels voor traditionele wapening en er is ook een publicatie van cement hoe je aan scheurvorming kan rekenen met staalvezel beton. Het probleem van staalvezel beton is dat je scheurwijdte niet kan beheersen. Je moet zorgen dat het niet scheurt en op de plekken waar het wel significant kan scheuren moet wapening bijgelegd worden en daarom is voorspanning of krimpreductie/eliminatie zo handig. Dan hoeft alleen nog maar echt op de krachtpieken te wapenen en niet meer op de krimp.

Die ontwikkeling zijn we met Prologis behoorlijk actief mee bezig om dat voor elkaar te krijgen. In eerste instantie voor de vloeren op staal, want dat is wat makkelijker dan op palen. Dan heb je niet die hele hoge momenten boven de palen. Die momenten onder de puntlasten zitten aan de onderkant van de vloer en er heeft nog nooit iemand mij gebeld met de opmerking ik heb zoveel scheuren aan de onderkant van de vloer.

Dat is eigenlijk even het ontwerptechnische verhaal en dan kom je eigenlijk aan het beton verhaal. Want staal is staal. Je kan het met waterstof gaan produceren, je kan het uit recycling produceren. Die recycling wordt steeds duurzamer daar hebben we het net over gehad. Bij transport eigenlijk hetzelfde verhaal. Eigenlijk komt de helft van de CO₂-impact van beton, een kwart uit transport en een kwart uit wapening. Engineer de vloer zo efficiënt mogelijk, hoe minder materiaal gebruik hoe beter het is. Dus het optimale stramien opzoeken.

Dan kom je bij beton, wat ik eigenlijk net allemaal liet zien. Dat is voor een deel de wat verdere toekomst. Nu is eigenlijk probeer zoveel mogelijk secundaire materialen te gebruiken. Maar het grote probleem met secundaire materialen is enerzijds ze zijn niet zo heel erg schoon. En een monolietvloer wil je vlinderen en dan wil je niet allerlei vuiltjes in je oppervlak hebben. Dus daarom is het best wel lastig om secundaire materialen in monoliet vloeren toe te passen. Maar dat wordt al beter door slimme brekers. Nog een nadeel is dat het water absorbeert en lijdt tot meer krimp. Dan krijg je eigenlijk dat je meer wapening in je beton moet gaan stoppen of een minder lange levensduur hebt omdat je meer scheurvorming hebt omdat secundaire materialen toepast. Er zijn dus 3 cirkels (figuur 36). Duurzaam zit op het vlak waar je een lage impact hebt, een hoge levensduur en een hoge functionaliteit. Op het moment dat je je impact wilt verlagen maar dat gaat ten koste van je functionaliteit of levensduur. Dat helpt niet. Die balans is super ingewikkeld bij monolietvloeren.

Dan heb je je CO₂-impact, die komt voor bijna 80 procent uit cement. Dat is je bindmiddelsysteem en daar is dus de vraag welke bindmiddelen wil je toepassen. Portlandcement is de grote vijand. Hoogovenslak gebruiken wij heel veel, maar wij over consumeren eigenlijk hoogovenslak in Nederland. Want wij importeren uit de hele wereld. Dus we zijn bezig voor een alternatief. EMC wil in Nederland een fabriek gaan neerzetten die vulkanische as gaat produceren. Om as als cement te gaan gebruiken. In Frankrijk is de eerste fabriek met gecalcineerde klei. Volgende week komt er dus een persbericht van asem. Dat gaat ook komen, dat is de



Figuur 36; Duurzaamheid. (Loonen, 2024)

afval van de afvalverwerking verwerken tot nieuw cement. Je kan dus proberen zo min mogelijk cement met zo veel mogelijk alternatieven; hoogovenslak, vlieg as, vulkanische as, gecalcineerde klei, etc. Je kan uiteindelijk ook zeggen ik haal het cement er helemaal uit en dan ga je dus naar een geopolymere. Dat hebben we bijvoorbeeld bij RDM in Rotterdam nu gedaan. Maar ook geopolymere zijn niet CO₂ vrij, maar wel CO₂ armer dan cement. Dan stop je er dus helemaal geen cement meer in maar dan stop je er eigenlijk alleen nog maar die alternatieven in en daar voeg je dan een alkali activator aan toe. Op een van die bordjes zagen jullie natriumsulfaat, dat is een hele milde activator die kan je combineren met cement. Dan combineer je eigenlijk een klein beetje cement met heel veel van die secundaire alternatieven en dan doe je er een milde activator bij. Als je cement er helemaal uit haalt dan moet je agressieve activatoren gaan gebruiken, bijvoorbeeld natronloog en waterglas.

Eigenlijk wat je doet is, je lost de mineralen op in het water door de pH heel hoog te maken. In die oplossing vinden die mineralen elkaar en dan ontstaat er een polymeer en dat noemen we een geopolymeer. Een geopolymeer is een geo-polymeer. Een polymeer is een keten van elementen en geo is grond. Dus het is een polymeer dat in de grond vanzelf ontstaat alleen wij proberen van een jaar een seconde te maken. Dat doen we dus door die pH enorm te verhogen. Die pH gaat naar 13.

MH: Hoge pH was base en lage pH was zuur?

NL: Ja, je moet het vergelijken met als je van 7 naar 13 gaat is net zo agressief als van 7 naar 1.

MH: Maar dan gaat het om de dosering of?

NL: Ja, op een gegeven moment gaat het ook om de concentratie of duur. Enerzijds maak je de stoffen heel erg reactief en aan de andere kant maak je de pH heel hoog en dan kan je toch best snel reactie krijgen. Dan krijg je portlandcement vrij beton.

RN: Hoe zit het dan met beton die we nu nog gebruiken zit er nog veel CO₂ per sterkteklasse?

NL: In de winter meer dan in de zomer. Je zit met afwerking. Je wilt na het storten na een paar uur beginnen met vlinderen en dan wil je ergens na middernacht klaar zijn met vlinderen. In de zomer gaat dat heel makkelijk want dan is het warm en reageert die beton snel, dus dan moet je eigenlijk heel veel slak erin stoppen om het te vertragen. In de winter gaat het allemaal heel langzaam door de lage temperatuur en dan ga je dus portlandcement toevoegen om de reactie aan te jagen. Daar zijn wel weer versnellers, alkalische activatoren, verwarmt beton. Allemaal dat soort trucs moet je er dan in gaan gooien. Wat meer portlandcement in de winter en wat meer hoogovenslak in de zomer. Bijvoorbeeld die ultra fijne hoogovenslak kan je in de winter ook wat meer gaan gebruiken. Zo proberen we dus iedere keer met wat technologieën te komen.

RN: Zit er dan ook nog veel verschil in met de beton sterkteklassen, zoals C20/25 dat die minder uitstoot geeft dan een C30/37?

NL: In principe wel, maar vaak bepaalt je milieuklasse al een soort van ondergrens in je sterkteklasse. Een C20/25 XD3 dat kan helemaal niet. Je moet een watercementfactor van 0,45 hebben. Dan is het knap om niet ver boven de C35/45 te komen. Bij monolietvloeren hebben we eigenlijk een watercementfactor van een half, om de krimp een beetje onder controle te houden. Mag gewoon 0,6 of 0,55. Lig eraan of de onderkant nat vindt. Ik vind de onderkant eigenlijk niet nat, want het grondwater zit een meter lager. Maar goed we hebben er geen folietje tussen dus je kan er over discussiëren. Laten we zeggen 0,55 maar

dat beton krimpt weer meer dan een 0,50 watercementfactor. Daardoor krijg je eigenlijk standaard een C30/37. We reken wel eens met een uitgestelde sterkte. Dan rekenen we na 90 dagen met een C35/45. Om voor minder cement te zorgen. Dus met uitgestelde sterkte kan je ook nog een beetje spelen.

MH: Veel informatie weer.

NL: Net goed dat je het opgenomen hebt.

RN: Echt hoor anders had ik dit niet allemaal onthouden.

NL: Nu mag je lekker elke zin straks gaan ontleden.

RN: Die CO₂-uitstoot van beton, hoeveel is dat?

NL: Gemiddeld zit je op 200 nu, over het jaar. Optimaal is 120. Veel lager lukt gewoon niet.

RN: Dat is dan gemiddeld voor die C30/37?

NL: Ja, en dan XC4. Dan moet er minimaal 300 kilo cement in zitten, maar vaak zit er meer in 320. En dan 170 liter water. Met staalvezels iets meer water. Je hebt meer poeder nodig om die vezels goed op te kunnen nemen. Die vezels zorgen er toch voor dat het toch iets minder makkelijk verdeeld. Dat kost iets meer water.

RN: We hadden het erover dat een betonleverancier wil meer grover materiaal erin, maar dat is weer niet goed voor de staalvezel want die kon zich dan niet meer verspreiden.

NL: De 32mm grind is goedkoper dan de 16mm grind. Dat is eigenlijk meer een prijs ding. En zand is weer goedkoper dan grind. Als wij werkgevers hebben wij redelijk strenge regeltjes daarnaast hoe het beton samengesteld moet zijn.

Afronding

MH: Mogen we nog een foto maken van het rijtje potjes?

NL: Tuurlijk.

MH: Goed, bedankt voor alle informatie.

Interview Coen Kuipers; Ten Brinke

Gegevens interviewer en respondent

Interviewer

Naam: Mats Holterman & Rick Nijeboer

Functie: Afstudeerders/onderzoekers

Organisatie: Windesheim

Afkorting voor transcriptie: MH & RN

Datum: 28-03-2024

Respondent

Naam: Coen Kuipers (Kuipers, 2024)

Functie: Hoofd inkoop

Organisatie: Ten Brinke

Afkorting voor transcriptie: CK

Opening

Allereerst bedanken MH & RN, CK voor het vrijmaken van de tijd om de vragen te beantwoorden.

Inhoudelijk

MH: Wij waren eigenlijk benieuwd naar de kuub prijs van beton, want er zijn verschillende sterkteklassen. Hoe hanteer je dat als Ten Brinke zijnde?

CK: Wij vragen dus aan wat je gemiddeld het meeste nodig hebt. Betonprijs is regionaal heel erg divers in prijs.

MH: De dichtstbijzijnde centrale biedt wat anders aan dan.

CK: Ja, kijk de concentratie centrales meer is dan bijvoorbeeld hier in de regio dan zul je natuurlijk prijsverschil zien.

RN: Concurreren zeg maar.

CK: Ja, dat heeft echt met concurrentiepositie te maken inderdaad wat je zegt. Zal ik gewoon even wat laten zien dat je zegt van daar kan ik wat mee. Dat is het makkelijkst denk ik.

RN: Ja.

MH: Ja laat maar zien. Wij hebben de berekening van de vloer er nu bijna in zitten. Hoe dik die moet worden. En dan kan je ook kuubs doen.

CK: Kuub breedplaatvloer.

MH: In het werk gestort op palen.

CK: Ja, euh wat voor gebouw? Jullie bouwen een hal?

RN: Ja, wat in Zwolle ook gebouwd wordt.

CK: Dan heb je zwaarder type beton nodig he. Ik zit even te kijken. Het gaat jullie algemeen over de prijs of niet?

MH: Ja.

RN: Ja en dan meer een soort prijs per eenheid, dus voor beton dan prijs per kuub en voor staal. Hoe krijgen jullie meestal de prijs? Prijs per kilo denk ik of prijs per ton.

CK: Ja. Eigenlijk zoals je het aanvraagt. Prijs per kilo. We proberen eigenlijk alles naar eenheden terug te brengen. Hier heb ik de laatste status van de prijs. Dit is dus van standaard beton (C20/25) wat in de woningbouw het meeste nodig hebt. Het gele vlak is het dan (105,-). Daar hebben jullie eigenlijk weer niks aan, omdat jullie een hal bouwen.

RN: Ja klopt.

CK: Jullie hebben vaak C30/37 nodig en dan F4 waarschijnlijk. Jullie kunnen met vezels doen op palen.

RN: Ja we gaan naar 3 soorten kijken.

CK: Jullie hebben netten nodig. Wapenen traditioneel, onder en boven wapenen.

RN: We gaan naar 3 soorten kijken, gewoon wapening, hybride en vezels. Vezels zal hem waarschijnlijk niet worden.

CK: Op palen niet. Leuk om dat uit te zoeken he.

RN: Ja. Vooral voor het onderzoek. Als je dan nu een prijs hebt wordt het al veel meer, ga je veel meer richting een eindproduct.

CK: Ja dat is mooi. Hier heb ik een voorbeeld waarbij je kunt zien dat beton in de randstad goedkoper is dan in deze regio. C30/37 met F4 en fijn grind is €112,- voor het gemak, maar dit is wel echt de laagste in de markt. Ik weet niet wat jullie nodig hebben qua prijs.

RN: De prijs die jullie gebruiken. Het is meer dat het voor jullie makkelijker wordt uiteindelijk om te kunnen zien zo duur wordt het om een betonvloer op palen te maken.

CK: Oh ja zo ja, nou dan moet je dit een beetje aanhouden.

RN: Dus zeg maar €112,-

CK: Ja €112,-. €115,- houd maar aan. Ja het punt is je hebt een beetje.

MH: Waar zit het, waar is het project.

CK: Waar is het project. Kijk als jij een gemiddelde prijs nodig hebt voor de C30/37 en dan zonder betonpomp dan moet je ongeveer rekenen tussen de €115,- en €120,-. Als je mij nou zou vragen zit ik altijd. Ik ben even zoekende wat jullie het liefste willen. Hier heb ik 1 van C12/15 voor €125,-. Dat is de lichtste soort en bij een ander was die €98,-. Dus als je tussen de €115,- en €120,- aanhoudt voor C30/37 dat je heel laag zit. Dis is van de grootste aanbieder van Nederland eigenlijk. Dan zie hoeveel diversiteit je hebt als je niet oplet, daar ging het mij om. Ik zou €120,- per kuub aanhouden.

MH: Heb je wel eens gehad dat je een andere sterkteklasse hebt aangevraagd?

CK: Ja je hebt wel eens C35/45 gehad als het echt gevraagd wordt door de constructeur, maar kan zo niet eens een voorbeeld noemen. Eigenlijk is C20/25 en C30/37 de gebruikelijke.

RN: En dan is C20/25 meer woningbouw.

CK: Ja klopt. En breedplaatvloer heb je altijd C30/37.

MH: Dat was beton. En dan palen, want wij willen HSP of VibroSD hoe je het noemt en Heipalen. Heb je daar ook een kerngetal per strekkende meter.

CK: Dat is lastig. Dat is echt heel moeilijk.

MH: Want je zit met transport en hoelang.

CK: Hoe groot, hoe diep, aantallen. Dat is echt heel lastig om dat mee te nemen.

MH: Komen wij nu ook wel achter met het ontwerpen, er zijn zoveel dingen waar je rekening mee moet houden.

CK: Er zijn gewoon heel veel variabelen.

RN: Er is dus geen vaste prijs per meter?

CK: Nee, dat zou ik echt niet. Bij dit voorbeeld zit je ongeveer op €115,- per paal. Houd maar €175,- per paal aan. Wij hebben wel eens geprobeerd om het naar strekkende meter om te rekenen, maar heistelling doet ook iets.

MH: Zijn heipalen duurder dan Vibro palen, omdat heipalen prefab zijn?

CK: Betonnen heipalen zijn de voordeligste soort. Alle andere in de vorm van in de grond gevormde palen zijn duurder. Stalenbuis palen zijn natuurlijk nog weer duurder. Ik vind het lastig om in te vullen voor zowel HSP als prefab. Houd voor nu €65,- per meter aan.

RN: We houden het variabel, dus de prijs kan in de tool nog aangepast worden.

MH: Die €170,- van je HSP was?

CK: Ja maar dat is ook totaal. Dat is per paal, maar wat krijg ik dan? Krijg ik 20 meter, krijg ik 15 meter, krijg ik 10 meter. Ik zou gewoon 1 prijs aanhouden. Nou is een HSP-paal goedkoper he. Als je de prijs voor HSP halveert ten opzichte van de prijs van Heipalen heb je wel een beeld. Ik heb hier een ander voorbeeld voor de HSP en houd dan maar €20,- per meter aan.

RN: Je hebt twee verschillende palen, dus als we voor die €17,-.

CK: Oh verrekt je hebt gelijk. Dat had ik helemaal niet gezien dat er twee verschillende palen zijn.

RN: Je zei €17,- gemiddeld he. Dus als we voor de kleinere €15,- aanhouden en voor de grotere €20,- per meter.

CK: Dan je heb je €15,- per meter, dat kan haast niet. Of misschien ook wel. Houd maar €10,- per meter aan.

RN: Voor Heipalen had je toen die €65,-. Is dat voor vierkant 220 of 250?

CK: Nee, 290. De rest moet ik jullie even schuldig blijven, de rest zal ik moeten opzoeken. Het punt is.

RN: Het is gewoon niet makkelijk om er een kerngetal aan te geven.

CK: Wij krijgen vaak alleen totaalbedragen. Dus de prijs voor een strekkende meter moet ik even nakijken voor jullie. Wanneer moeten jullie dat hebben? Volgende week?

RN: Zit geen haast achter, als het maar voor 4 juni is.

CK: Ik kijk volgende week nog wel even naar.

MH: Dat zou mooi zijn.

CK: Dat lijkt mij beter.

MH: Mijn mail heb je nog, want toen heb ik je die vragen gestuurd.

RN: In die mail staat de prijs per strekkende meter voor wapeningsstaal, maar dat mag dan wel in prijs per kilogram.

CK: De gemiddelde prijs voor een kilo wapeningsstaaf is €1,35.

RN: Voor staal?

CK: Ja, inclusief vlechten in Nederland.

RN: Prijs per kilo is het dan.

CK: Ja prijs per kilo inclusief vlechten en afstand houders.

RN: En dan voor wapeningsnetten geldt dat dan hetzelfde als voor staven?

CK: Wapeningsnetten is iets goedkoper, houd daar maar, ik houd iets marge aan, €1,15 aan.

RN: Per kilo inclusief vlechten?

CK: Ja, ik kom hoger en lager tegen. Die palen zal ik dan nog even doorgeven wat je daarvoor kan aanhouden. Prijs voor Heipalen en HSP palen.

MH: Ja en dan voor strekkende meter het liefst.

CK: Ja in eenheid, dat komt helemaal goed.

RN: Staal kunnen wij zo omrekenen naar kilo dus dat maakt verder niet uit.

CK: Ja dat ligt aan de maas, maar als je de kilo hebt is het makkelijkst. Daar heb je altijd hetzelfde van.

RN: Wij hebben het er zo inzitten dat hij het dan omrekent naar kilo.

CK: Oh dat heb je al, top!

MH: Dan rekt die uit, hey dit netje moet in de vloer, dan rekt die het netje weer om naar de kilo's. Als we dan de prijs eraan koppelen hebben wij gelijk een inschatting.

CK: Oh mooi. Goed gedaan.

RN: Wij hadden eerst per net los, maar aangezien het toch per kilo is kunnen wij ook één input hebben. Voor netten is het dan €1,15 per kilo en voor staven dan €1,35 per kilo. Dan zijn we er ook.

MH: Is pons dan nog lastiger leggen of maakt dat niet uit.

CK: Net is uiteraard het makkelijkst, maar wij spreken over het algemeen een totaalprijs af. Dan zit alles erin. Kijk prefab stekken is ook weer iets anders. Dan krijg je gewoon een prijs.

RN: Anders ga je er ook weer te diep op in.

CK: Ja.

RN: Dan hebben wij in ieder geval een richtlijn.

CK: Daar kun je mee uit de voeten. Dat was het?

RN: Ja of jij moet nog iets hebben waarvan je zegt belangrijk om mee te nemen qua prijs.

CK: Het verwerken van de vloer.

RN: Het vlinderen bedoel je dan?

CK: Ja.

RN: Ja vlinderen kan er nog wel in. Dat is misschien wel een goede.

CK: Zo kun je wel doorgaan trouwens.

RN: Dat gaat denk ik per vierkante meter.

CK: Ja.

MH: Vierkante meters hebben wij ook al in de tool.

RN: Is daar een bepaalde prijs voor wat je zo uit de duim kunt zuigen?

CK: Er zijn wel getallen van, maar daar moet ik ook even naar kijken. Ik doe dan een gespecificeerde prijs.

RN: Hier kunnen wij wel wat mee.

CK: Als je nog vragen hebt, kom gerust hierbinnen lopen.

Afronding

MH: Coen heel erg bedankt!

RN: Ja, bedankt!

CK: Geen probleem jongens, heel veel succes!

Interview Henk Naafs; Ten Brinke

Gegevens interviewer en respondent

Interviewer

Naam: Mats Holterman & Rick Nijeboer

Functie: Afstudeerders/onderzoekers

Organisatie: Windesheim

Afkorting voor transcriptie: MH & RN

Datum: 28-03-2024

Respondent

Naam: Henk Naafs (Naafs, 2024)

Functie: Hoofdconstructeur

Organisatie: Ten Brinke

Afkorting voor transcriptie: HN

Opening

Allereerst bedanken MH & RN, HN voor het vrijmaken van de tijd om de vragen te beantwoorden.

Inhoudelijk

MH: Hoe bereken je nou eigenlijk een vloer op palen? Stap voor stap. Dan krijg je de tekening binnen.

HN: Ja, dan ga je eerst kijken naar welke belastingen gelden er. De opgelegde belasting, dus de veranderlijke belasting, categorie. Categorie A is woningbouw, categorie B is kantoren, categorie C is bijeenkomstgebouwen, D is winkelruimtes, E is opslag. Nou E komt heel veel voor dat zijn DC's dat is categorie E en kantoren komen vaak voor zeg maar. En als je dan kijkt hoogte van de belastingen, kantoren is meestal 4 als er een kantinetje in zit is het 5. Als je opslag C zeg maar dan is onder de mezzanine 25 en waar geen mezzanine, waar de stellingen helemaal tot het dak doorgaan is het 50 zeg maar. Dan heb je de belastingen vastgesteld, de opgelegde belasting. De tweede stap is welke consequence klasse geldt er. Is het CC1 of CC2. Dan heb je dat en dan weet je niet wat je vloerdikte is, dan ga je vervolgens eerst een schatting maken over een vloerdikte. Ik start meestal bij 25 centimeter. Als ik die dan heb vastgelegd, kan ik mijn P_{Ed} uitrekenen natuurlijk want ik moet mijn veranderlijke belasting doen maal anderhalf.

MH: En eigen gewicht.

HN: En eigen gewicht maal 1,2. Dan heb je de P_{Ed} . En wat je dan vaak doet is op basis van projecten die je in het verleden als eens hebt gehad bij een kantoorgebouw en dan weet ik als dat 4 kilonewton. Ik wil de vloeren niet dikker hebben als 250. Dan begin ik met raster van 3 bij 3. En dan ga ik kijken van nou 3 bij 3, wat is dan mijn, met de GTB-tabellen, wat is dan mijn moment onder zeg maar. Daar kijk ik eerst naar ondermoment, omdat dat. Ik wil eigenlijk een vloer. Meestal ontwerp ik een vloer bij het onder wapening overall hetzelfde is, want het moment is heel flauw zeg maar. Steunpuntsmoment is een piekje boven de paal, maar een onder moment is over een heel groot gebied en je moet hem over een afstand d verschuiven. Dan kijk je wat bij die 3 meter bijvoorbeeld kijk je wat het onder moment is. Dan zeg je is de wapening nog een beetje redelijk. Ja wat is redelijk is het een rond 10 of moet daar rond 20 om de 100 in. Dan is hetgeen net meer. Ik wil met een net afwapenen. Dus de grootste wapening die je kunt afwapenen is rond 12 om de 100 zeg maar. Dat is de zwaarste wapening die je kan pakken. Dan volgt de van de vloer dik 25 waar ik mee begonnen ben, komt eruit rond 10 om de 150. Ik noem maar wat. Op basis daarvan zeg je oke dat vind ik wel redelijk. Dan ga je kijken naar mijn pons. Dan zeg ik nou ik heb een vakje van 3 bij 3, ik weet mijn P_{Ed} dan weet ik ook mijn paalkracht. Dan ga ik kijken naar oke paalkracht is 300 kilonewton. Ik noem maar wat. Of 400 kilonewton. Wat voor een paal is daarvoor nodig. Stel dat dat een vierkant 220 is of een vierkant 250. Dan ga ik de pons controleren. Pons, oeh paalreactie is eigenlijk wel veelste hoog. Ik moet ponswapening toepassen, maar ik wil eigenlijk geen ponswapening. Die 3 meter. Wat voor een belasting mag ik toelaten, dat ik geen pons krijg. Nou dan komt er bijvoorbeeld uit dat je eigenlijk naar 2,70 meter bij 2,70 meter.

MH: Voorkeur heeft dus geen ponswapening?

HN: Zo ontwerp ik meestal een vloer, maar dat heeft niet de voorkeur. Dit is een tactiek zeg maar wat ik dan doe. Oke geen ponswapening, dus die 2,70 bij 2,70 wordt het en dan denk ik nou ja goed dan is de overspanning weer wat kleiner geworden. Dan kan de vloer misschien ook wel iets dunner maken, dan maak ik hem 23 dik. De overspanning is kleiner, dus kan ik met dezelfde wapening, die ik eerst ook had, een dunner vloer. Dan heb ik dat klaar en dan ga ik de boven wapening bepalen. Als ik de boven wapening bepaald heb, ga ik de scheurwijdte controleren. Soms blijkt daaruit, oh ja die vloer is wel heel dik. Het scheurmoment, ik noem maar eventjes een voorbeeld, het scheurmoment is 1,4 maal f_{bm} maal weerstandsmoment en het scheurmoment is, ik noem maar wat, 50 kilonewtonmeter. Mijn wapening waar ik het op had gebaseerd is maar 30 kilonewtonmeter. Dan weet ik eigenlijk dat is een te dikke vloer. Het is geen goede verhouding. Je wilt eigenlijk dat je scheurmoment voor opgelegde vervorming wil je eigenlijk houden aan het moment ten gevolge van uitwendige belastingen. Zo moet je het doen, want heb je het optimale moment. Als je heel veel wapening moet bijleggen om aan scheurwijdte te voldoen, dat is eigenlijk niet verstandig. Eigenlijk moet je. Je hebt 2 voorwaarden waar je aan moet voldoen. Het moet sterk genoeg zijn en de scheurwijdte moet voldoen. Je wil dat eigenlijk op elkaar afstemmen. Maar goed, dit is een mooi voorbeeld wat ik nu geef, maar dat is natuurlijk niet altijd dat het zo makkelijk is. Soms moet je veel vaker heen en weer pendelen. Op een gegeven moment denk je van ja maar ik vind die toch eigenlijk.

MH: Hij is nog wel dik.

HN: Ik vind die, ik vind hem eigenlijk nog te dik. Ik wil toch eigenlijk wat dunner. Ik wil mijn scheurmoment wat laten zakken. Ik noem maar wat of mijn weerstandsmoment. Oke ja dan wordt ie wel wat dunner, maar ja dan moet ik eigenlijk wel weer ponswapening toepassen. Dan pas je weer ponswapening toe. Dus het is nooit één mooie lijn zeg maar. Het enige wat vastligt zijn je belastingen. Dat is nog niet eens helemaal vastgelegd, want je weet je vloerdikte niet. Maar zo is dus het proces. Je gaat van belastingen, een geschatte vloerdikte, dan doe je op basis van ervaring met andere projecten kies je een raster. Dus bijvoorbeeld bij een kantoor is 3 meter, maar als ik een DC heb dan ga ik naar een raster van 1,80 meter, 1,90 meter dan begin ik daarmee. Ik weet gewoon vanuit ervaring wat mijn raster is. Dus de volgende stap is, ik weet mijn belasting. Ik neem een raster aan. Ik ga het toetsen. Dan kan ik de wapening bepalen. En als ik de wapening bepaal en ik denk dat vind ik geen gekke wapening die kan ik afwapenen. Dan ga ik pons controleren. Als ik pons gecontroleerd heb, dan ga ik boven wapening controleren. Boven wapening is eigenlijk het laatste want, ik heb 6 onbekende en ik heb maar 1 vergelijking dus ik moet er 4 of 5 kiezen. Dus dat is het proces zeg maar als constructeur. Heel belangrijk is eigenlijk om te kijken van, vind ik altijd, van wat heb je nodig voor scheurwijdte. Ik reken al heel snel uit wat is mijn scheurmoment en wat is dan mijn moment ten gevolge van belasting. Het moment ten gevolge van belasting doe ik natuurlijk in de UGT. Dan, ik noem maar wat, is mijn moment 50 kilonewtonmeter, maar wat is mijn frequente moment bij mijn frequente belastingscombinatie. Die is bijvoorbeeld 30 kilonewton delen door de belastingfactor zeg maar eventjes grofweg. Dan wil ik eigenlijk dat mijn vloerdikte ook zodanig is dat mijn scheurmoment ook 30 is, want dan zit ik goed. Dat is ideaal hoor, dat is niet altijd. De ene keer is die het, de andere keer is die het zeg maar. Dat is eigenlijk het proces wat je doet, maar soms kan er natuurlijk ook uitkomen. Ja oke, maar die paal vierkant 220 die belasting is te hoog. Dan moet ik de paal groter nemen, omdat mijn belasting te hoog is. Bij 3 bij 3 kan al geen paal 220 omdat die belasting te hoog is. Dus je moet ook altijd naar je draagvermogen kijken. Maar vaak is dat toch niet een maatgevende. Vloerdikte en wapening zijn heel vaak maatgevend. De paal zoek je er later wel bij.

MH: Paal zoek je bij je?

HN: Ja bij je configuratie.

MH: Je zei net dat je GTB aanhoudt met ontwerpen, maar plastisch doe je eigenlijk niet?

HN: Plastisch doen we eigenlijk niet, maar is veel gunstiger. Je piekmomenten in je GTB zijn veel hoger dan als je een vloeilijn neemt over je palen en een vloeilijn in je veld. Of een spaakwielpatroon om je palen zeg maar. Nadeel daarvan is als vloeilijnenpatroon, dus vloeit er staat ergens in de norm dat je niet mag herverdelen ten koste van het steunpuntsmoment.

RN: Maar je mag wel herverdelen van veld naar steunpunt. Je mag niet van steunpunt naar veld, maar wel van veld naar steunpunt.

HN: Ja dat wel, maar je steunpuntsmoment mag niet lager worden en dat is een hele vervelende. Het tweede nadeel is dat je de netten zijn vaak A-netten B500A en in de norm staat dat je B-netten moet toepassen als je een plastische berekenen doet. B-netten zijn er wel hoor, maar zijn waarschijnlijk ietsjes duurder. De clue is van een B-staal zeg maar een A-staal die heeft een beperkte breukrek en B-staal heeft een langere breukrek, dus die kan meer vervormen dus kunnen de krachten beter herverdelen totdat ie breekt. Die is veel taaier.

RN: Dus eigenlijk zeg je dat wij de momenten moeten pakken vanuit de GTB?

HN: Nee, nee, nee. Ik zou ze beide doen.

MH: En spaakwielpatroon kun je bij alle type vloeren toepassen zowel traditioneel als hybride en vezels?

HN: Ja moet je. Spaakwiel geeft alleen maar de vloeilijnen aan, maar hoe jij je capaciteit in je vloeilijn wilt waarborgen dat mag wapening, dat mag met staalvezel of met wapening en staalvezel. Je moet een materiaal hebben dat zich plastisch kan gedragen, dat nemen wij als uitgangspunt. Voor staalvezels is dat heel makkelijk, maar je moet wel in de gaten houden dat je voldoet aan de voorwaarden anders kun je sowieso niet plastisch rekenen.

Afronding

MH: Henk heel erg bedankt!

RN: Ja, bedankt!

Stappenplan ontwerptool

Stap 1: Het bestand 'Opslaan als'. Wanneer je iets aanpast aan het bestand, blijft het originele bestand altijd intact, waardoor er altijd een ontwerptool aanwezig is die werkt.

Stap 2: Vul alle oranje cellen in onder het kopje 'Invoer' op het 'Invulblad'. Advies is om 'Contranet toepassen' op 'Nee' te laten staan. Dan wordt namelijk op basis van het aantal benodigde mm2 het best passende aantal wapeningsstaven voorgeschreven. Indien zeker is dat deze toegepast wordt kan deze op 'Ja' gezet worden en kan het juiste contranet geselecteerd. Dit wordt dan in het resultaat meegenomen.

Invoer					
Algemeen					
Belastingcategorie	E	Opstalgruimte			
Gevechtklasse	CC1				
NI	0,9				
Belasting					
	IN/m ²	u0	u1	u2	Omschrijving
Permanente	4,38				Eigen gewicht
Permanente					Ruisterende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	
Belast - orbelast toepassen	Ja				
Type van Momenten berekening					
Lineair-elastische (GTB)					
Eigenschappen element					
Positie element	Vloer/land				
Vloerdikte	175 mm				
Vloerafmeting	30 m	x	30 m		
Oppervlakte	10800 m ²				
Inhoud	1890 m ³				
Funderingspaal Trad					
Paaltype	HSP				
Paallengte	15 m				
HSP-diameter	300 mm				
Betonklasse	C30/37				
Paalaster (Traditioneel)	1935 mm	x	1935 mm		
Paalaster (Hybride)	1935 mm	x	1935 mm		
Paalaster (Vezel)	1935 mm	x	1935 mm		
Beton					
Betonklasse	C30/37	f_{ck}	30,00 N/mm ²		
Milieuklasse	XS4	$f_{d,ok}$	37,00 N/mm ²		
Dekking (C _{min})	30	f_{ct}	20,00 N/mm ²		
		$f_{t,med}$	22,28 N/mm ²		
		E_{cm}	32837 N/mm ²		
Wapening					
Staalsoort	B500	f_{yk}	435 N/mm ²		
Contranet toepassen	Nee	E_s	200000 N/mm ²		
		Schijnwicht	7850 kg/m ³		

Stap 3: Indien geotechnisch advies beschikbaar is, vul de juiste paal draagvermogen van de verschillende typen in onder het kopje 'Override'.

Paal draagvermogen adhv. Geoadvis		
Paaltype	Almeting	Paal draagvermogen (kN)
HSP	180	
HSP	220	
HSP	270	
Heipaal	180	
Heipaal	220	
Heipaal	250	
Heipaal	290	

Stap 4: Klik op de grote knop 'BEREKENEN' naast het kopje 'Uitvoer'.

Uitvoer	
BEREKENEN	

Stap 5: Bekijk de resultaten. Deze kun je vinden door op het 'Invulblad' naar beneden te scrollen. Ben je tevreden met de resultaten? Dan is dat je ontwerp. Zo niet, pas dan of je paaltype en/of je paalraster en/of vloerdikte aan. Deze eerste twee zijn weer te vinden onder het kopje 'Override'.

Funderingspaal			
Paaltype			
HSP-diameter			
Paalraster, middenveld		x	
Paalraster, hoekveld		x	

Verhouding klopt, GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

Stap 6: Herhaal stap 4 en 5 net zolang totdat je tevreden bent met de uitkomsten.

Case studies

Case studie				
Ontwerptool vs huidige ontwerpproces				
Uitgangspunten		Tijd	Resultaten	Kosten / m ²
Constructeur				
Belastingcategorie:	E	8 uur	Paalraster 2650mmx2850mm	€ 49,12
Gevolgklasse:	CC2		Bovennet Ø 8-100, met 8 Ø 8	
Veranderlijke belasting:	25 kN/m ²		(402,12 mm2) bijleg.	
Vloerdikte:	200mm			
Betonsterkteklasse:	C30/37			
Wapeningskwaliteit	B500		Ondernet Ø 9-150	
Ontwerptool				
Belastingcategorie:	E	5 minuten	Paalraster 2650mmx2850mm	€ 46,51
Gevolgklasse:	CC2		Bovennet Ø 8-100, met 1 Ø 10 en	
Veranderlijke belasting:	25 kN/m ²		3 Ø 8 (gezaamenlijk 229,34 mm2)	
Vloerdikte:	200mm		bijleg.	
Betonsterkteklasse:	C30/37			
Wapeningskwaliteit	B500		Ondernet Ø 9-150	
Belastingcategorie:	E	5 minuten	Paalraster 2505mmx2505mm	€ 41,68
Gevolgklasse:	CC2		Bovennet Ø 8-100, met 4 Ø 8	
Veranderlijke belasting:	25 kN/m ²		(201,06 mm2) bijleg.	
Vloerdikte:	180mm			
Betonsterkteklasse:	C30/37			
Wapeningskwaliteit	B500		Ondernet Ø 7-100	

Case studie			
Optimale paalraster			
Optie	Paalraster (mm)	Lengte paal (m)	Kosten
I = √ (MRd / (0,001 * Pfreq * momentencoëfficiënt))	Middenveld 2215x2215 Hoekveld 1845x1845	15	€ 817.552,13
	Middenveld 2215x2215 Hoekveld 1845x1845	20	€ 920.416,04
I = √ (MRd / (0,001 * PEd * momentencoëfficiënt))	Middenveld 1825x1825 Hoekveld 1520x1520	15	€ 732.838,04
	Middenveld 1825x1825 Hoekveld 1520x1520	20	€ 833.607,77
Ix = √(Paal draagvermogen / PEd)	Middenveld 1935x1935 Hoekveld 1550x1550	15	€ 714.065,53
	Middenveld 1935x1935 Hoekveld 1550x1550	20	€ 804.483,46

Case studie		
'Pons' verhelpen		
Optie	Resultaten	Kosten
Geen ponswapening door middel van paalraster verkleinen	Vloerdikte 180mm	€ 814.389,65
	Middenveld 1570x1570 Hoekveld 1260x1260	
Geen ponswapening door middel van vloer verdikken	Vloerdikte 220mm	€ 795.205,21
	Middenveld 1920x1920 Hoekveld 1540x1540	
Ponshoedjes toepassen	Vloerdikte 180mm	€ 714.065,53
	Middenveld 1935x1935 Hoekveld 1550x1550	

Uitdraai Excel-bestand

Betoneigenschappen

Betonssterkteklasse	Materiaaleigenschappen van beton in [N/mm ²]										Wapeningspercentage [%]		[%]		Factoren		
	<i>f_{yk}</i>	<i>f_{yk,red}</i>	<i>f_{yk,d}</i>	<i>f_{ct}</i>	<i>f_{ct1}</i>	<i>f_{ctm}</i>	<i>f_{cm}</i>	<i>f_{ctk,R}</i>	<i>f_{td}</i>	<i>E_m</i>	<i>A_{s,min}</i>	<i>A_{s,max}</i>	<i>ε_{ct1}</i>	<i>ε_{ct2}</i>	α	β	
C16/20	16	20	20	10,7	0,89	1,90	24	3,13	12,00	28608	2,40	0,099%	0,984%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C20/25	20	25	25	13,3	1,03	2,21	28	3,45	15,00	29962	2,94	0,115%	1,230%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C25/30	25	30	30	16,7	1,20	2,56	33	3,77	18,00	31476	3,60	0,133%	1,538%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C30/37	30	37	37	20,0	1,35	2,90	38	4,22	22,20	32837	4,22	0,151%	1,845%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C35/45	35	45	45	23,3	1,50	3,21	43	4,73	27,00	34077	4,82	0,167%	2,153%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C40/50	40	50	50	26,7	1,64	3,51	48	5,05	30,00	35220	5,38	0,182%	2,460%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C45/55	45	55	55	30,0	1,77	3,80	53	5,37	33,00	36283	5,90	0,197%	2,768%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C50/60	50	60	60	33,3	1,90	4,07	58	5,69	36,00	37278	6,40	0,212%	3,076%	1,75‰	3,50‰	0,75	0,39
C55/67	55	67	67	36,7	1,97	4,21	63	6,13	40,20	38214	6,86	0,219%	3,021%	1,80‰	3,10‰	0,71	0,37
C60/75	60	75	75	40,0	2,03	4,35	68	6,65	45,00	39100	7,30	0,226%	3,008%	1,90‰	2,90‰	0,67	0,36
C70/85	70	85	85	46,7	2,15	4,61	78	7,28	51,00	40743	8,06	0,240%	3,128%	2,00‰	2,70‰	0,62	0,35
C80/95	80	95	95	53,3	2,26	4,84	88	7,92	57,00	42244	8,70	0,252%	3,278%	2,20‰	2,60‰	0,58	0,34
C90/105	90	105	105	60,0	2,35	5,04	98	8,56	63,00	43631	9,22	0,262%	3,560%	2,30‰	2,60‰	0,56	0,34

Betonssterkteklasse	Staalvezels				
	<i>f_{ik,stab}</i> *	<i>f_{tk,stab}</i>	<i>f_{tk,min}</i>	<i>f_{tk,typ}</i>	<i>E_{st}</i>
C16/20	20	17,00	17,00	14,45	12,04
C20/25	25	21,25	21,25	18,06	15,05
C25/30	30	25,5	25,5	21,68	18,06
C30/37	37	31,45	31,45	26,73	22,28
C35/45	45	38,25	38,25	32,51	27,09
C40/50	50	42,5	42,5	36,13	30,10
C45/55	55	46,75	46,75	39,74	33,11
C50/60	60	51,00	51,00	43,35	36,13
C55/67	67	56,95	56,95	48,41	40,34
C60/75	75	63,75	63,75	54,19	45,16
C70/85	85	72,25	72,25	61,41	51,18
C80/95	95	80,75	80,75	68,64	57,20
C90/105	105	89,25	89,25	75,86	63,22

*Vezels dragen volgens bekaart niet bij aan de druksterkte.

Dosering kg/m ³		<i>f_{k1}</i>	<i>f_{k3}</i>	<i>f_{tk1}</i>	<i>f_{tk3}</i>	<i>f_{td1}</i>	<i>f_{td3}</i>	<i>f_{td1}</i>
40	65/60BG	25	3,27	4,11	2,99	1,47	1,52	1,18
	40 65/60BG	30	3,82	4,76	2,99	1,72	1,76	1,38
	40 65/60BG	35	4,30	5,29	2,99	1,94	1,96	1,55
	40 65/60BG	40	4,71	5,68	2,99	2,12	2,10	1,70
50	65/60BG	25	3,05	4,40	2,99	1,37	1,63	1,10
	50 65/60BG	30	3,59	5,00	2,99	1,62	1,85	1,29
	50 65/60BG	35	4,12	5,60	2,99	1,85	2,07	1,48
	50 65/60BG	40	4,65	6,20	2,99	2,09	2,29	1,67

Betonssterkteklasse	Betondekking <i>c_{min,d}</i> , Plaat, Wand							
	X0	XC1	XC2	XC4	XD1	XD2	XS2	XD3
C16/20	10	10	20	25	30	35	35	40
C20/25	10	10	20	25	30	35	35	40
C25/30	10	10	20	25	30	35	35	40
C30/37	10	10	20	25	30	35	35	40
C35/45	10	10	15	25	30	35	35	40
C40/50	10	10	15	20	25	30	35	40
C45/55	10	10	15	20	25	30	30	35
C50/60	10	10	15	20	25	30	30	35
C55/67	10	10	15	20	25	30	30	35
C60/75	10	10	15	20	25	30	30	35
C70/85	10	10	15	20	25	30	30	35
C80/95	10	10	15	20	25	30	30	35
C90/105	10	10	15	20	25	30	30	35

Betonssterkteklasse	Betondekking <i>c_{min,d}</i> , Balk, Poer, Console, Kolom							
	X0	XC1	XC2	XC4	XD1	XD2	XS2	XD3
C16/20	10	15	25	30	35	40	40	45
C20/25	10	15	25	30	35	40	40	45
C25/30	10	15	25	30	35	40	40	45
C30/37	10	10	25	30	35	40	40	45
C35/45	10	10	20	30	35	40	40	45
C40/50	10	10	20	25	30	35	40	45
C45/55	10	10	20	25	30	35	35	40
C50/60	10	10	20	25	30	35	35	40
C55/67	10	10	20	25	30	35	35	40
C60/75	10	10	20	25	30	35	35	40
C70/85	10	10	20	25	30	35	35	40
C80/95	10	10	20	25	30	35	35	40
C90/105	10	10	20	25	30	35	35	40

Milieuklasse	Toelaatbare scheurwijdte	
	Elementen met betonstaal zonder aanhechting	
	Frequentie	
	belastingcombinatie	
W _{max}		
X0		0,4
XC1		0,4
XC2		0,3
XC3		0,3
XC4		0,3
XD1		0,2
XD2		0,2
XD3		0,2
XS1		0,2
XS2		0,2
XS3		0,2

Funderingspalen							
Heipalen				HSP			
Afmeting heipaal	Lengte	Max kN	€/m	Diameter	Lengte	Max kN	€/m
180 x 180	14000	150	9,23	180	26000	274	€ 6,11
220 x 220	19500	350	€ 13,79	220	26000	455	€ 9,12
250 x 250	22500	550	€ 17,81	273	26000	780	€ 16,05
290 x 290	26000	750	€ 23,97				
320 x 320	29000	900	n.v.t.				
350 x 350	31500	1100	n.v.t.				
380 x 380	34000	n.v.t.	n.v.t.				
400 x 400	36000	n.v.t.	n.v.t.				
420 x 420	38000	n.v.t.	n.v.t.				
450 x 450	39000	n.v.t.	n.v.t.				
500 x 500	39000	n.v.t.	n.v.t.				

Lengte palen heeft UB groep gelimiteerd aan de slankheid ± 80x diameter.

Tevens is er rekening gehouden met een excentriciteit van 50mm

Wapeningsstaaleigenschappen

Oppervlakte wapeningsstaven (mm²/m)									
Afstand h.o.h. in mm	Aantal staven in m	Diameter Ø (mm)							
		Ø 6	Ø 7	Ø 8	Ø 9	Ø 10	Ø 12	Ø 16	Ø 20
70	14,29	404	550	718	909	1122	1616	2872	4488
75	13,33	377	513	670	848	1047	1508	2681	4189
80	12,50	353	481	628	795	982	1414	2513	3927
85	11,76	333	453	591	748	924	1331	2365	3696
90	11,11	314	428	559	707	873	1257	2234	3491
95	10,53	298	405	529	670	827	1190	2116	3307
100	10,00	283	385	503	636	785	1131	2011	3142
105	9,52	269	367	479	606	748	1077	1915	2992
110	9,09	257	350	457	578	714	1028	1828	2856
115	8,70	246	335	437	553	683	983	1748	2732
120	8,33	236	321	419	530	654	942	1676	2618
125	8,00	226	308	402	509	628	905	1608	2513
130	7,69	217	296	387	489	604	870	1547	2417
135	7,41	209	285	372	471	582	838	1489	2327
140	7,14	202	275	359	454	561	808	1436	2244
145	6,90	195	265	347	439	542	780	1387	2167
150	6,67	188	257	335	424	524	754	1340	2094
155	6,45	182	248	324	410	507	730	1297	2027
160	6,25	177	241	314	398	491	707	1257	1963
165	6,06	171	233	305	386	476	685	1219	1904
170	5,88	166	226	296	374	462	665	1183	1848
175	5,71	162	220	287	364	449	646	1149	1795
180	5,56	157	214	279	353	436	628	1117	1745
185	5,41	153	208	272	344	425	611	1087	1698
190	5,26	149	203	265	335	413	595	1058	1653
195	5,13	145	197	258	326	403	580	1031	1611
200	5,00	141	192	251	318	393	565	1005	1571
205	4,88	138	188	245	310	383	552	981	1532
210	4,76	135	183	239	303	374	539	957	1496
215	4,65	132	179	234	296	365	526	935	1461
220	4,55	129	175	228	289	357	514	914	1428
225	4,44	126	171	223	283	349	503	894	1396
230	4,35	123	167	219	277	341	492	874	1366
235	4,26	120	164	214	271	334	481	856	1337
240	4,17	118	160	209	265	327	471	838	1309
245	4,08	115	157	205	260	321	462	821	1282
250	4,00	113	154	201	254	314	452	804	1257

Oppervlakte losse wapeningsstaven (mm²)						
Aantal staven	Diameter Ø (mm)					
	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 16	Ø 20
1	28,27	50,27	78,54	113,10		
2	56,55	100,53	157,08	226,19		
3	84,82	150,80	235,62	339,29	603,19	942,48
4	113,10	201,06	314,16	452,39	804,25	1256,64
5	141,37	251,33	392,70	565,49	1005,31	1570,80
6	169,65	301,59	471,24	678,58	1206,37	1884,96
7	197,92	351,86	549,78	791,68	1407,43	2199,11
8	226,19	402,12	628,32	904,78	1608,50	2513,27
9	254,47		706,86	1017,88	1809,56	2827,43
10	282,74	502,65	785,40	1130,97	2010,62	3141,59
11	311,02	552,92	863,94	1244,07	2211,68	3455,75
12	339,29	603,19	942,48	1357,17	2412,74	3769,91
13	367,57	653,45	1021,02	1470,27	2613,81	4084,07
14	395,84	703,72	1099,56	1583,36	2814,87	4398,23
15	424,12	753,98	1178,10	1696,46	3015,93	4712,39
16	452,39	804,25	1256,64	1809,56	3216,99	5026,55
17	480,66	854,51	1335,18	1922,65	3418,05	5340,71
18	508,94	904,78	1413,72	2035,75	3619,11	5654,87
19	537,21	955,04	1492,26	2148,85	3820,18	5969,03
20	565,49	1005,31	1570,80	2261,95	4021,24	6283,19

Oppervlakte 2-zijdige wapeningsbeugels (mm²)						
Aantal staven	Diameter Ø (mm)					
	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 16	Ø 20
1	56,55	100,53	157,08	226,19	402,12	628,32
2	113,10	201,06	314,16	452,39	804,25	1256,64
3	169,65	301,59	471,24	678,58	1206,37	1884,96
4	226,19	402,12	628,32	904,78	1608,50	2513,27
5	282,74	502,65	785,40	1130,97	2010,62	3141,59
6	339,29	603,19	942,48	1357,17	2412,74	3769,91
7	395,84	703,72	1099,56	1583,36	2814,87	4398,23
8	452,39	804,25	1256,64	1809,56	3216,99	5026,55
9	508,94	904,78	1413,72	2035,75	3619,11	5654,87
10	565,49	1005,31	1570,80	2261,95	4021,24	6283,19
11	622,04	1105,84	1727,88	2488,14	4423,36	6911,50
12	678,58	1206,37	1884,96	2714,34	4825,49	7539,82
13	735,13	1306,90	2042,04	2940,53	5227,61	8168,14
14	791,68	1407,43	2199,11	3166,73	5629,73	8796,46
15	848,23	1507,96	2356,19	3392,92	6031,86	9424,78
16	904,78	1608,50	2513,27	3619,11	6433,98	10053,10
17	961,33	1709,03	2670,35	3845,31	6836,11	10681,42
18	1017,88	1809,56	2827,43	4071,50	7238,23	11309,73
19	1074,42	1910,09	2984,51	4297,70	7640,35	11938,05
20	1130,97	2010,62	3141,59	4523,89	8042,48	12566,37

Oppervlakte 3-zijdige wapeningsbeugels (mm²)						
Aantal staven	Diameter Ø (mm)					
	Ø 6	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 16	Ø 20
1	84,82	150,80	235,62	339,29	603,19	942,48
2	169,65	301,59	471,24	678,58	1206,37	1884,96
3	254,47	452,39	706,86	1017,88	1809,56	2827,43
4	339,29	603,19	942,48	1357,17	2412,74	3769,91
5	424,12	753,98	1178,10	1696,46	3015,93	4712,39
6	508,94	904,78	1413,72	2035,75	3619,11	5654,87
7	593,76	1055,58	1649,34	2375,04	4222,30	6597,34
8	678,58	1206,37	1884,96	2714,34	4825,49	7539,82
9	763,41	1357,17	2120,58	3053,63	5428,67	8482,30
10	848,23	1507,96	2356,19	3392,92	6031,86	9424,78
11	933,05	1658,76	2591,81	3732,21	6635,04	10367,26
12	1017,88	1809,56	2827,43	4071,50	7238,23	11309,73
13	1102,70	1960,35	3063,05	4410,80	7841,42	12252,21
14	1187,52	2111,15	3298,67	4750,09	8444,60	13194,69
15	1272,35	2261,95	3534,29	5089,38	9047,79	14137,17
16	1357,17	2412,74	3769,91	5428,67	9650,97	15079,64
17	1441,99	2563,54	4005,53	5767,96	10254,16	16022,12
18	1526,81	2714,34	4241,15	6107,26	10857,34	16964,60
19	1611,64	2865,13	4476,77	6446,55	11460,53	17907,08
20	1696,46	3015,93	4712,39	6785,84	12063,72	18849,56

Staalspanning (N/mm²)	Maximale staafdiameter		
	w _s = 0,4 mm	w _s = 0,3 mm	w _s = 0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5

Staalspanning (N/mm²)	Maximale staafafstand		
	w _s = 0,4 mm	w _s = 0,3 mm	w _s = 0,2 mm
160	300	300	250
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Milieuklasse	w _{max} (mm)
X0	0,4
XC1	0,4
XC2	0,3
XC3	0,3
XC4	0,3
XD1	0,2
XD2	0,2
XD3	0,2
XS1	0,2
XS2	0,2
XS3	0,2

	B-netten Type	Diameter Ø (mm)	Afmeting LxB (mm)	Maas (mm)	Gewicht Kg/stuk	Netto m²	Gewicht Kg/m²
6100	B-283 A	Ø 6	6000 x 2400	100	58,34	11,97	4,87
6150	B-188 A	Ø 6	5950 x 2350	150	38,32	11,97	3,20
7100	B-385 A	Ø 7	6000 x 2400	100	79,37	11,97	6,63
7150	B-257 A	Ø 7	5950 x 2350	150	52,13	10,82	4,82
8100	B-503 A	Ø 8	6000 x 2400	100	100,49	11,20	8,97
8150	B-335 A	Ø 8	5950 x 2350	150	64,9	10,82	6,00
9100	B-636 A	Ø 9	6000 x 2400	100	126,95	11,20	11,33
9150	B-424 A	Ø 9	5950 x 2350	150	81,99	10,82	7,58
10100	B-785 A	Ø 10	6000 x 2400	100	156,96	11,20	14,01
10150	B-524 A	Ø 10	5950 x 2350	150	101,37	10,82	9,37
12100	B-1131 A	Ø 12	6000 x 2400	100	210,99	9,72	21,71
12150	B-754 A	Ø 12	5950 x 2350	150	138,53	9,72	14,25

	BEC-netten Type	Diameter Ø (mm)	Afmeting LxB (mm)	Maas (mm)	Gewicht Kg/stuk	Netto m²	Gewicht Kg/m2
	BEC-188 A	Ø 6	5950 x 2350	150	36,47	10,82	3,37
	BEC-257 A	Ø 7	5960 x 2360	150	49,77	10,82	4,60
	BEC-503 A	Ø 8	3500 x 2200	100	49,57	5,10	9,72
	BEC-335 A	Ø 8	4450 x 2350	150	45,23	7,02	6,44
	BEC-424 A	Ø 9	6000 x 2400	150	79,04	9,72	8,13
	BEC-785 A	Ø 10	6000 x 2400	100	141,42	9,01	15,70
	BEC-524 A	Ø 10	5900 x 2300	150	89,71	8,66	10,36

Waardes voor $\psi_{0,1,2}$				
Belastingklassering		ψ_0	ψ_1	ψ_2
A	Woning	0,4	0,5	0,3
B	Kantoor	0,5	0,5	0,3
C	Bijeenkomst	0,4	0,7	0,6
D	Winkelgebouwen	0,4	0,7	0,6
E	Opslagruimte	1	0,9	0,8
F	Voertuigen < 30kN	0,7	0,7	0,6
G	Voertuigen > 30kN	0,7	0,5	0,3
H	Dak	0	0	0
*	Wind	0	0,2	0
*	Sneeuw	0	0,2	0
*	Temperatuur	0	0,5	0
*	Regenwater	0	0	0

Kosten

Kosten m³ beton

C20/25	€	150,00	€/m ³
C30/37	€	165,00	€/m ³

Kosten per kg wapeningsnetten

Kosten Ø6-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø6-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø7-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø7-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø8-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø8-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø9-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø9-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø10-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø10-100	€	1,15	€/kg
Kosten Ø12-150	€	1,15	€/kg
Kosten Ø12-100	€	1,15	€/kg

Kosten kilogram wapeningsstaal

Ø 6	€	1,35	€/kg
Ø 8	€	1,35	€/kg
Ø 10	€	1,35	€/kg
Ø 12	€	1,35	€/kg
Ø 16	€	1,35	€/kg
Ø 20	€	1,35	€/kg

Kosten staalvezels

Dramix_4D	€ 1,75	€/kg
Dramix_5D	€ 2,50	€/kg

Kosten strekende meter funderingspaal

Heipaal Vierkant 180	€	9,23	€/m ¹
Heipaal Vierkant 220	€	13,79	€/m ¹
Heipaal Vierkant 250	€	17,81	€/m ¹
Heipaal Vierkant 290	€	23,97	€/m ¹
HSP Ø180	€	6,11	€/m ¹
HSP Ø220	€	9,12	€/m ¹
HSP Ø273	€	14,05	€/m ¹

CO₂-impact

Beton	200	kg CO ₂ / m ³
Wapeningsstaal	1	kg CO ₂ / kg
Staalvezels	1	kg CO ₂ / kg

Invoer

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,50				Eigen gewicht
Permanent					Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	
Belast - onbelast toepassen	Ja				

Type van Momenten berekening

Lineair-elastische (GTB)

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand
Vloerdikte	180 mm
Vloerafmeting	120 m
Oppervlakte	10800 m ²
Inhoud	1944 m ³

Funderingspaal Trad

Paaltype	HSP
Paallengte	15 m
HSP-diameter	180 mm
Betonklasse	C30/37
Paalraaster (Traditioneel)	1935 mm
Paalraaster (Hybride)	1935 mm
Paalraaster (Vezels)	1935 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	f_{ck} =	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube}$ =	37,00 N/mm ²
Dekking (C_{nom})	30	f_{cd} =	20,00 N/mm ²
		f_{tcrep} =	26,73 N/mm ²
		f_{tcd} =	22,28 N/mm ²
		E_{cm} =	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	f_{yd} =	435 N/mm ²
Contranet toepassen	Nee	E_s =	200000 N/mm ²
		Soortelijk gewicht =	7850 kg/m ³

Override

Paal draagvermogen adhv Geoadvies

Paaltype	Afmeting	Paal draagvermogen (kN)
HSP	180	
HSP	220	
HSP	273	
Heipaal	180	
Heipaal	220	
Heipaal	250	
Heipaal	290	

Funderingspaal

Paaltype		
HSP-diameter		
Paal raster, middenveld	x	
Paal raster, hoekveld	x	

Verhouding klopt, GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

Uitvoer

Meest optimaal vloertype

Goedkoopste vloertype

Kosten	€ 775.211,96
Type vloer	Hybride

Vloertype met minste CO₂-impact

Impact	738648 kg
Type vloer	Hybride

Traditioneel

Kosten	€ 801.545,53	CO ₂ -impact	795465 kg
	€ 74,22 /m ²		74 kg/m ²

Hybride

Kosten	€ 775.211,96	CO ₂ -impact	738648 kg
	€ 71,78 /m ²		68 kg/m ²

Vezels

Kosten	Voldoet niet	CO ₂ -impact	Voldoet niet kg
--------	--------------	-------------------------	-----------------

Resultaten (Traditioneel)

! Let op !

Paaldraagvermogen voldoet

Ponswapening toepassen

Eigenschappen element

Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Beton

Betonklasse	C30/37
Milieuklasse	XC4
Dekking (Cnom)	30 mm

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
Paallengte	15 m		
HSP-diameter	180 mm		
Betonklasse	C30/37		
Paalraster,middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Paalraster,hoekveld	1550 mm	x	1550 mm
Aantal palen	2961		
Totaal aantal m1 paal	44415 m		

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Bovenwapening,middenveld

Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	503 mm ² /m

Bovenwapening,randveld

Wapening	
Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	503 mm ² /m

Onderwapening,middenveld

Wapening	Ø 7 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	385 mm ² /m

Onderwapening,randveld

Wapening	Ø 9 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	636 mm ² /m

Ponswapening

Diameter	Ø 8 mm
Aantal staven	5

Afmetingen ponschoedje

l, losse staaf =	778 mm
h.o.h. staven =	100 mm

Uitkomsten (Traditioneel)

Beton

Volume		1944 m ³
Kosten	€	320.760,00
CO ₂ -impact		388800 kg
% van geheel		40,02%

Funderingspalen

Totale lengte		44415 m
Kosten	€	271.253,78
CO ₂ -impact		226045 kg
% van geheel		33,84%

Wapeningsstaal

Bovenwapening,middenveld

Wapeningsnet		B-503 A
Oppervlakte		10159 m ²
Aantal netten		908
Gewicht		91146 kg
Kosten	€	104.818,26
CO ₂ -impact		91146 kg

Bovenwapening,randveld

Wapening

Wapeningsnet		B-503 A
Oppervlakte		641 m2
Aantal netten		58
Gewicht		5755 kg
Kosten	€	6.617,97
CO ₂ -impact		5755 kg

Totale kosten bovenwapening	€	111.436,23
% van geheel		13,90%

Onderwapening,midden

Wapeningsnet		B-385 A
Oppervlakte		10159 m2
Aantal netten		849
Totale gewicht		67359 kg
Kosten	€	77.463,01
CO ₂ -impact		67359 kg

Onderwapening,randveld

Wapeningsnet		B-636 A
Oppervlakte		641 m2
Aantal netten		58
Totale gewicht		7270 kg
Kosten	€	8.360,55
CO ₂ -impact		7270 kg
Totale kosten onderwapening	€	85.823,56
% van geheel		10,71%

Ponswapening

Lengte ponswapening		7,78 m
Gewicht ponshoedje		3,07 kg
Totaal gewicht		9090 kg
Kosten	€	12.271,97
CO ₂ -impact		9090 kg
Totale kosten ponswapening	€	12.271,97
% van geheel		1,53%

Totale kosten	€	801.545,53
Totale CO ₂ -impact		795465 kg

Resultaten (Hybride)

! Let op !

Paal draagvermogen voldoet

Geen ponswapening nodig

Eigenschappen element

Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Beton

Betonklasse	C30/37
Milieuklasse	XC4
Dekking (Cnom)	30 mm

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
Paallengte	15 m		
HSP-diameter	180 mm		
Betonklasse	C30/37		
Paalraster, middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Paalraster, hoekveld	1550 mm	x	1550 mm
Aantal palen	2961		
Totaal aantal m1 paal	44415 m		

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Bovenwapening

Wapening	Ø 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A_s	283 mm ² /m

Onderwapening, rand

Wapening	Ø 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A_s	283 mm ² /m

Ponswapening

N.v.t.

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix_4D	$f_{crep} =$	26,73 N/mm ²
Kwaliteit	65/60BG	$f_{eqk,3} =$	4,42 N/mm ²
Hoeveelheid	35 kg/m ³		

Uitkomsten (Hybride)

Beton

Volume		1944 m ³
Kosten	€	320.760,00
CO ₂ -impact		388800 kg
% van geheel		41,38%

Funderingspalen

Totale lengte		44415 m
Kosten	€	271.253,78
CO ₂ -impact		226045 kg
% van geheel		34,99%

Wapeningsstaal

Bovenwapening

Wapeningsnet		B-283 A
Oppervlakte		10800 m ²
Aantal netten		903
Gewicht		52638 kg
Kosten	€	60.533,23
CO ₂ -impact		52638 kg
Totale kosten bovenwapening	€	60.533,23
% van geheel		7,81%

Onderwapening, rand

Wapeningsnet		B-283 A
Oppervlakte		641 m ²
Aantal netten		54
Gewicht		3126 kg
Kosten	€	3.594,95
CO ₂ -impact		3126 kg
Totale kosten onderwapening	€	3.594,95
% van geheel		0,46%

Ponswapening

N.v.t.

Vezels

Totale hoeveelheid		68040 kg
Kosten	€	119.070,00
CO ₂ -impact		68040 kg
Totale kosten staalvezels	€	119.070,00
% van geheel		15,36%

Totale kosten	€	775.211,96
Totale CO ₂ -impact		738648 kg

Traditionele wapening

(Ontwerp tgv scheurmoment)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand
Vloerdikte	180 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Belastingcombinaties

Fundamentele

6.10a			
$P_{Ed} = 1,35 \cdot KFI \cdot qG;k + 1,5 \cdot KFI \cdot qQ;k \cdot \psi_0$	$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²	
6.10b			
$P_{Ed} = 1,2 \cdot KFI \cdot qG;k + 1,5 \cdot KFI \cdot qQ;k$	$P_{Ed} =$	72,36 kN/m ²	

Rekenwaarde belasting	
$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²

Frequente

$P_{freq} = 1,0 \cdot qG;k + 1,0 \cdot \psi_1 \cdot qQ;k$	$P_{freq} =$	49,50 kN/m ²
---	--------------	-------------------------

Scheurmoment

$$M_{cr} = 1,4 \cdot \sigma_{cr,b} \cdot W$$

$$W = 1/6 \cdot b \cdot h^2$$
$$W = 5400000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{cr,b} = 0,6 \cdot f_{ctfl,m,0}$$
$$\sigma_{cr,b} = 2,53 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctfl,m,0} = (0,9 \cdot (1,05 + (0,05 \cdot (f_{cc,k,0} + 8))) \cdot (1600-h))/1000$$
$$f_{ctfl,m,0} = 4,22 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 19,13 \text{ kNm}$$

$$x = (A_s \cdot f_{yk}) / (0,5 \cdot f_{ck} \cdot b)$$

$$x = 16,76 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 \cdot \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 138,00 \text{ mm}$$

$$z = d - 1/3 \cdot x$$

$$z = 132,41 \text{ mm}$$

Scheurwijdte

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

1e manier van scheurwijdte bereken

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

$$s_{r,\max} = (k_3 \cdot c) + ((k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing) / \rho_{p,\text{eff}}) \leq \text{de grootste waarde van } (50 - (0,8 \cdot f_{ck})) \cdot \varnothing \text{ en } 15 \cdot \varnothing$$

$$s_{r,\max} = 208 \text{ mm}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = (\sigma_s - (k_t \cdot (f_{ct,\text{eff}} / \rho_{p,\text{eff}})) \cdot (1 + (a_e \cdot \rho_{p,\text{eff}}))) / E_s \geq 0,6 \cdot (\sigma_s / E_s)$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = A_s / A_{c,\text{eff}}$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = 0,009237$$

$$a_e = E_s / E_{cm}$$

$$a_e = 6,09$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,000862$$

$$w_k = 0,18 \text{ mm}$$

2e manier van scheurwijdte bereken

$$\sigma_{sr,2} = M_{cr} / z \cdot A_{s,\text{prov}}$$

$$M_{cr} = 19130126 \text{ Nmm}$$

$$z = h - c - 3/2 \cdot \text{diameter} - 1/3 \cdot x$$

$$z = 132 \text{ mm}$$

$$A_{s,\text{prov}} = 503 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sr,2} = 287 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{sr,2} = \sigma_{sr,2} / E_s$$

$$\epsilon_{sr,2} = 0,00144$$

$$\alpha_1 = 0,4 \cdot (1 - 0,1 \cdot (c / \varnothing)) \geq 0,24$$

$$\alpha_1 = 0,25$$

$$l_{vr} = \alpha_1 \cdot \varnothing \cdot \sigma_s / f_d^{1/2}$$

$$l_{vr} = 122 \text{ mm}$$

$$(h-x)/(d-x) = 1,35$$

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,6 \cdot \epsilon_{sr,2} \cdot l_{vr} \cdot 2,0$$

$$w_{\text{opp,gem}} = (h-x)/(d-x) \cdot w_{\text{wap,gem}}$$

$$\max = \text{gem} \cdot (1,7/1,4)$$

Een factor van 1,7 om van gemiddelde naar karakteristieke scheurwijdte te gaan. Daarna delen door 1,4 omdat die factor al gerekend is bij het scheurmoment.

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,21 \text{ mm}$$

$$w_{\text{wap,max}} = 0,26 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,gem}} = 0,28 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,max}} = 0,34 \text{ mm}$$

Controle scheurwijdte

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,26 \text{ mm}$$

$$w_{\max} > w_k$$

Scheurwijdte voldoet

Wapeningsvoorstel M_{cr}

Diameter	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
$A_{s,net} =$	503 mm ²

Berekening M_{Rd}

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$$
$$M_{Rd} = 28,94 \text{ kNm}$$

Aanname paalraster tgv paal draagvermogen**Middenveld**

$$l_x = \sqrt{(Paal draagvermogen / P_{Ed})}$$
$$l_x = 1935 \text{ mm}$$

Hoekveld

$$l_x = 0,8 \cdot l_{x,middenveld}$$
$$l_x = 1550 \text{ mm}$$

Samenvatting**Paalraster**

Middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Hoekveld	1550 mm	x	1550 mm
Randveld	1550 mm	x	1935 mm

Verhouding randveld

$$\text{verhouding, randveld} = l_{x,middenveld} / l_{x,hoekveld}$$
$$\text{verhouding, randveld} = 1,25$$

Kleinste L $\geq$ 0,8 * grootste L

$$1550 \text{ mm} \geq 0,8 \cdot 1935 \text{ mm}$$

Stelling voldoet, GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

Wapeningsvoorstel

$$A_{s,min} = 271 \text{ mm}^2$$
$$A_{s,max} = 3322 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req} = M_{cr} / (\sigma_s \cdot z)$$
$$M_{cr} = 19,13 \text{ kNm}$$
$$A_{s,req} = 503 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,req} = M_{freq} / (\sigma_s \cdot z)$$

$$M_{freq,boven,midden} = 21,52 \text{ kNm}$$
$$A_{s,req,boven,midden} = 566 \text{ mm}^2$$

$$M_{freq,boven,rand} = 23,26 \text{ kNm}$$
$$A_{s,req,boven,rand} = 611 \text{ mm}^2$$

Wapeningsvoorstel, Middenveld Boven

$$\text{Diameter} = \text{Ø } 8 \text{ mm}$$
$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} = 100 \text{ mm}$$
$$A_{s,net} = 503 \text{ mm}^2$$

Bijlegwapening toepassen**Toe te passen bijlegwapening**

$$A_{s,req,bijleg} = 63 \text{ mm}^2$$
$$\text{Diameter} = \text{Ø } 10$$
$$\text{Aantal staven} = 1$$
$$A_{s,prov, bijleg} = 79 \text{ mm}^2$$
$$A_{s,prov,totaal} = 581 \text{ mm}^2$$

Wapeningsvoorstel, Randveld, Boven

$$\text{Diameter} = \text{Ø } 8 \text{ mm}$$
$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} = 100 \text{ mm}$$
$$A_{s,net} = 503 \text{ mm}^2$$

Bijlegwapening toepassen**Toe te passen bijlegwapening**

$$A_{s,req,bijleg} = 109 \text{ mm}^2$$
$$\text{Diameter} = \text{Ø } 12$$
$$\text{Aantal staven} = 1$$
$$A_{s,prov, bijleg} = 113 \text{ mm}^2$$
$$A_{s,prov,totaal} = 616 \text{ mm}^2$$

$$x = (A_s * f_{yk}) / (0,5 * f_{ck} * b)$$

$$x = 9,42 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 147,00 \text{ mm}$$

$$z = d - 1/3 * x$$

$$z = 143,86 \text{ mm}$$

Onderwapening, middenveld

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

1e manier van scheurwijdte bereken

$$w_k = s_{r,\max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

$$s_{r,\max} = (k_3 * c) + ((k_1 * k_2 * k_4 * \varnothing) / \rho_{p,\text{eff}}) \leq \text{de grootste waarde van } (50 - (0,8 * f_{ck})) * \varnothing \text{ en } 15 * \varnothing$$

$$s_{r,\max} = 156,00 \text{ mm}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = (\sigma_s - (k_t * (f_{ct,\text{eff}} / \rho_{p,\text{eff}})) * (1 + (a_e * \rho_{p,\text{eff}}))) / E_s \geq 0,6 * (\sigma_s / E_s)$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = A_s / A_{c,\text{eff}}$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = 0,004973$$

$$a_e = E_s / E_{cm}$$

$$a_e = 6,09$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,001092$$

$$w_k = 0,17 \text{ mm}$$

2e manier van scheurwijdte bereken

$$\sigma_{sr,2} = M_{\text{freq}} / z * A_{s,\text{prov}}$$

$$M_{\text{freq}} = 14809188 \text{ Nmm}$$

$$z = h - c - 3/2 * \text{diameter} - 1/3 * x$$

$$z = 144 \text{ mm}$$

$$A_{s,\text{prov}} = 283 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sr,2} = 364 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{sr,2} = \sigma_{sr,2} / E_s$$

$$\epsilon_{sr,2} = 0,0018204$$

$$\alpha_1 = 0,4 * (1 - 0,1 * (c / \varnothing)) \geq 0,24$$

$$\alpha_1 = 0,24$$

$$l_{vr} = \alpha_1 * \varnothing * \sigma_s / f_d^{1/2}$$

$$l_{vr} = 111 \text{ mm}$$

$$(h-x)/(d-x) = 1,2399$$

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,6 * \epsilon_{sr,2} * l_{vr} * 2,0$$

$$w_{\text{opp,gem}} = (h-x)/(d-x) * w_{\text{wap,gem}}$$

$$\max = \text{gem} * (1,7/1,4)$$

Een factor van 1,7 om van gemiddelde naar karakteristieke scheurwijdte te gaan. Daarna delen door 1,4 omdat die factor al gerekend is bij het scheurmoment.

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,24 \text{ mm}$$

$$w_{\text{wap,max}} = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,gem}} = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,max}} = 0,37 \text{ mm}$$

Controle scheurwijdte

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_{\max} > w_k$$

Scheurwijdte voldoet

$$x = (A_s * f_{yk}) / (0,5 * f_{ck} * b)$$

$$x = 16,76 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 146 \text{ mm}$$

$$z = d - 1/3 * x$$

$$z = 140 \text{ mm}$$

Onderwapening, randveld

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

1e manier van scheurwijdte bereken

$$w_k = s_{r,\max} * (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

$$s_{r,\max} = (k_3 * c) + ((k_1 * k_2 * k_4 * \varnothing) / \rho_{p,\text{eff}}) \leq \text{de grootste waarde van } (50 - (0,8 * f_{ck})) * \varnothing \text{ en } 15 * \varnothing$$

$$s_{r,\max} = 208,00 \text{ mm}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = (\sigma_s - (k_t * (f_{ct,\text{eff}} / \rho_{p,\text{eff}})) * (1 + (a_e * \rho_{p,\text{eff}}))) / E_s \geq 0,6 * (\sigma_s / E_s)$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = A_s / A_{c,\text{eff}}$$

$$\rho_{p,\text{eff}} = 0,009237$$

$$a_e = E_s / E_{cm}$$

$$a_e = 6,09$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,0008308$$

$$w_k = 0,17 \text{ mm}$$

2e manier van scheurwijdte bereken

$$\sigma_{sr,2} = M_{\text{freq}} / z * A_{s,\text{prov}}$$

$$M_{\text{freq}} = 19545451 \text{ Nmm}$$

$$z = h - c - 3/2 * \text{diameter} - 1/3 * x$$

$$z = 140 \text{ mm}$$

$$A_{s,\text{prov}} = 503 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{sr,2} = 277 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{sr,2} = \sigma_{sr,2} / E_s$$

$$\epsilon_{sr,2} = 0,001385$$

$$\alpha_1 = 0,4 * (1 - 0,1 * (c / \varnothing)) \geq 0,24$$

$$\alpha_1 = 0,25$$

$$l_{vr} = \alpha_1 * \varnothing * \sigma_s / f_d^{1/2}$$

$$l_{vr} = 118 \text{ mm}$$

$$(h-x)/(d-x) = 1,2631$$

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,6 * \epsilon_{sr,2} * l_{vr} * 2,0$$

$$w_{\text{opp,gem}} = (h-x)/(d-x) * w_{\text{wap,gem}}$$

$$\max = \text{gem} * (1,7/1,4)$$

Een factor van 1,7 om van gemiddelde naar karakteristieke scheurwijdte te gaan. Daarna delen door 1,4 omdat die factor al gerekend is bij het scheurmoment.

$$w_{\text{wap,gem}} = 0,20 \text{ mm}$$

$$w_{\text{wap,max}} = 0,24 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,gem}} = 0,25 \text{ mm}$$

$$w_{\text{opp,max}} = 0,30 \text{ mm}$$

Controle scheurwijdte

$$w_{\max} = 0,30 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,24 \text{ mm}$$

$$w_{\max} > w_k$$

Scheurwijdte voldoet

Wapeningsvoorstel, Middenveld Onder

Diameter	Ø 6 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
$A_{s,net} =$	283 mm ²

Wapeningsvoorstel, Randveld onder

Diameter	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
$A_{s,net} =$	503 mm ²

Wapeningscontrole

$A_{s,prov} > A_{s,req}$

Wapeningsoppervlakte voldoet

Scheurwijdte

De staalspanning is gelimiteerd aan de scheurwijdte. Als de optredende staalspanning kleiner blijft dan de berekende toegestane staalspanning zal de doorsnede altijd voldoen aan de gestelde scheurwijdte-eis.

Traditionele wapening

(BGT aanname controle aan UGT)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand
Vloerdikte	180 mm
Vloerafmeting	120 m x 90 m
Oppervlakte	10800 m ²
Inhoud	1944 m ³

Funderingspaal

Paaltype	HSP
Funderingspaal	180 mm
Paalraster,middenveld	1935 mm x 1935 mm
Paalraster,hoekveld	1550 mm x 1550 mm
Paalraster,randveld	1550 mm x 1935 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Belastingcombinaties

Fundamentele

6.10a			
$P_{Ed} = 1,35 \cdot KFI \cdot qG;k + 1,5 \cdot KFI \cdot qQ;k \cdot \psi_0$	$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²	
6.10b			
$P_{Ed} = 1,2 \cdot KFI \cdot qG;k + 1,5 \cdot KFI \cdot qQ;k$	$P_{Ed} =$	72,36 kN/m ²	

Rekenwaarde belasting

$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²
------------	-------------------------

Uiterste momenten

Het grootste moment komt voor uit de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.
Er is gekozen voor de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.

$M_{Ed,steunpunt,midden} =$	31,73 kNm/m
$M_{Ed,steunpunt,rand} =$	34,29 kNm/m
$M_{Ed,veld,midden} =$	21,99 kNm/m
$M_{Ed,veld,rand} =$	29,10 kNm/m

Toepassing wapeningsbaan,middenveld

Het toepassen van de wapeningsbaan heeft nut als de wapeningsbaan $< 0,7 \cdot \text{kolomstrook}$

Breedte kolomstrook = $0,5 \cdot l_x$

$0,5 \cdot l_x = 967,5 \text{ mm}$

Breedte wapeningsbaan = $b_2 + 1,5 \cdot b_1 + 1,5 \cdot h$

$s = 720 \text{ mm}$

Wapeningsbaan $> 0,7 \cdot \text{kolomstrook}$

Er hoeft geen gebruik gemaakt te worden van een wapeningsbaan

Het volledige optredende moment moet door de kolomstrook worden opgenomen

Toepassing wapeningsbaan,randveld

Het toepassen van de wapeningsbaan heeft nut als de wapeningsbaan $< 0,7 \cdot \text{kolomstrook}$

Breedte kolomstrook = $0,5 \cdot l_x$

$0,5 \cdot l_x = 775 \text{ mm}$

Breedte wapeningsbaan = $b_2 + 1,5 \cdot b_1 + 1,5 \cdot h$

$s = 720 \text{ mm}$

Wapeningsbaan $> 0,7 \cdot \text{kolomstrook}$

Er hoeft geen gebruik gemaakt te worden van een wapeningsbaan

Het volledige optredende moment moet door de kolomstrook worden opgenomen

Berekening $A_{s, \text{boven, middenveld}}$

$$A_s = (\alpha * b * x_u * f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_{s, \text{req}} = 554 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$x_u = (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd})))} / (2 * \beta)$$

$$x_u = 16,05 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \emptyset_{\text{hoofdwapening}} - \emptyset_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 138 \text{ mm}$$

Bovenwapening, middenveld**Wapeningsvoorstel tgv BGT**

$$\text{Diameter} \quad \emptyset 8 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 503 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Toe te passen bijlegwapening

$$A_{s, \text{req, bijleg}} = 63 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Diameter} \quad \emptyset 10$$

$$\text{Aantal staven} \quad 1$$

$$A_{s, \text{prov, bijleg}} = 79 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} = 581 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} \geq A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel voldoet

Berekening $A_{s, \text{boven, randveld}}$

$$A_s = (\alpha * b * x_u * f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_{s, \text{req}} = 601 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$x_u = (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd})))} / (2 * \beta)$$

$$x_u = 17,42 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \emptyset_{\text{hoofdwapening}} - \emptyset_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 138 \text{ mm}$$

Bovenwapening, randveld**Wapeningsvoorstel tgv BGT**

$$\text{Diameter} \quad \emptyset 8 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 503 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Toe te passen bijlegwapening

$$A_{s, \text{req, bijleg}} = 109 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Diameter} \quad \emptyset 12$$

$$\text{Aantal staven} \quad 1$$

$$A_{s, \text{prov, bijleg}} = 113 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} = 616 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} \geq A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel voldoet

Berekening $A_{s, \text{onder, middenveld}}$

$$A_s = (\alpha * b * x_u * f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_{s, \text{req}} = 378 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$x_u = (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd})))} / (2 * \beta)$$

$$x_u = 10,96 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 141 \text{ mm}$$

Onderwapening, middenveld**Wapeningsvoorstel tgv BGT**

$$\text{Diameter} \quad \varnothing 6 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 283 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} < A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel aanpassen

Wapeningsvoorstel tgv UGT

$$\text{Diameter} \quad \varnothing 7 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 385 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} \geq A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel voldoet

Berekening $A_{s, \text{onder, randveld}}$

$$A_s = (\alpha * b * x_u * f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_{s, \text{req}} = 506 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$x_u = (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd})))} / (2 * \beta)$$

$$x_u = 14,67 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$

$$d = 138 \text{ mm}$$

Onderwapening, randveld**Wapeningsvoorstel tgv BGT**

$$\text{Diameter} \quad \varnothing 8 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 503 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Bijlegwapening toepassen

$$A_{s, \text{prov, totaal}} < A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel aanpassen

Wapeningsvoorstel tgv UGT

$$\text{Diameter} \quad \varnothing 9 \text{ mm}$$

$$\text{h.o.h. wapeningsstaven} \quad 100 \text{ mm}$$

$$A_{s, \text{net}} = 636 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s, \text{prov, totaal}} \geq A_{s, \text{req}}$$

Wapeningsvoorstel voldoet

Bovenwapening,middenveld

Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	503 mm ² /m

Bovenwapening,randveld

Wapening	
Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	503 mm ² /m

Onderwapening,middenveld

Wapening	Ø 7 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	385 mm ² /m

Onderwapening,randveld

Wapening	Ø 9 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	636 mm ² /m

Pons

$v_{Ed} > v_{Rd,c}$, dus ponswapening toepassen

Controle

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ_0	ψ_1	ψ_2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
Paallengte	15 m		
HSP-diameter	180 mm		
Betonklasse	C30/37		
Paalraster,middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Paalraster,hoekveld	1550 mm	x	1550 mm
Paalraster,randveld	1550 mm	x	1935 mm
Aantal palen	2961		
Totaal aantal m1 paal	44415 m		

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C_{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Bovenwapening,middenveld

Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	503 mm ² /m

Bovenwapening,randveld

Wapening

Wapening	Ø 8 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	503 mm ² /m

Onderwapening,middenveld

Wapening	Ø 7 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
As	385 mm ² /m

Onderwapening,randveld

Wapening	Ø 9 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	636 mm ² /m

Belastingcombinaties

Omhullende combinaties

Fundamentele

6.10a	$P_{Ed} = 1,35 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k * \Psi_0$	$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²
6.10b	$P_{Ed} = 1,2 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k$	$P_{Ed} =$	72,36 kN/m ²

Rekenwaarde belasting

$$P_{Ed} = 72,97 \text{ kN/m}^2$$

Berekening ponskracht

$$V_{Ed} = A * P_{Ed}$$

$$V_{Ed} = 273 \text{ kN}$$

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 * d_{eff}$$

$$u_1 = \pi * (c + 4 * d_{eff})$$

$$u_1 = 2350 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = (d_y + d_z) / 2$$

$$142 \text{ mm}$$

$$d_y = h - c - 1/2 * \phi_{\text{hoofdwapening}}$$

eerste laag

$$d_y$$

$$146 \text{ mm}$$

$$d_z = d_y - \phi_{\text{hoofdwapening}}$$

tweede laag

$$d_z$$

$$138 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 * d_{eff}$$

$$v_{Ed} = 0,82 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,c}$

$$v_{Rd,c} = 0,12 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{200 / d_{eff}} \leq 2,0$$

$$k = 2,00$$

$$\rho_1 = \sqrt{(\rho_{1y} * \rho_{1z})} \leq 0,02$$

$$\rho_1 = 0,0035$$

$$\rho_{1y} = A_s / b * d_y$$

$$\rho_{1y} = 0,0034$$

$$\rho_{1z} = A_s / b * d_z$$

$$\rho_{1z} = 0,0036$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{Rd,c} = 0,542 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,max}$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250)$$

$$v = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

Controle pons

$$v_{Ed} = 0,82 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,c} < v_{Ed} < v_{Rd,max}$$

Ponswaening toepassen

Toets betondrukdiagonaal

$$v_{Ed} = V_{ED} / u_0 * d_{eff}$$

$$v_{Ed} = 3,40 \text{ N/mm}^2$$

$$u_0 = \pi * c$$

$$u_0 = 565 \text{ mm}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,max}, \text{ dus voldoet}$$

wapening

$$v_{Rd,cs} = 0,75 * v_{Rd,c} + v_{Rd,s}$$

$$v_{Rd,cs} = 0,75 * v_{Rd,c} + v_{Rd,s}$$

$$V_{Rd.s.req} = V_{Ed} - 0,75 * V_{Rd.c}$$

$$v_{Rd,s,reg} = v_{Ed} - 0,75 * v_{Rd,c}$$

$$V_{Bd, s, req} = 0,412 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,s} = (1,5 * (d / s_r) * A_{sw} * f_{v,ef}) / (u_1 * d) \text{ wordt herschreven als: } A_{sw} / S_r = (v_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{v,ef})$$

$$A_{sw} / s_r = (v_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{y,ef})$$

$$A_{sw} / s_r = 2,3 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$f_{y,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_y$$

$$f_{y,ef} = 285,5 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sw, req} = S_r \cdot 2,3$$

$$A_{sw, req} = 237,4 \text{ mm}^2$$

$$s_r = 0,75 * d$$

$$S_r = 105 \text{ mm}$$

$$A_{sw,min} \geq (0,08 * s_r * s_t * v f_{ck}) / (1,5 * f_{yk})$$

$$A_{\text{sw,min}} \geq 6,1 \text{ mm}^2$$

 $S_t = 100 \text{ mm}$
$$A_{s,prov} = 251,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 5 \text{ Ø } 8$$

$$v_{Rd,s} = (1,5 * (d/s_r) * A_s * f_{y,ef}) / (u_1 * d)$$

$$V_{Rd,s,prov} = 0.436 \text{ N/mm}^2$$

De minimale afstand van de laatste ponswapening tot de zijvlakken van de paal

```
xout = ((uout - (pi * c)) / (2 * pi)) - 1,5 * deff
```

$$x_{out} = 262 \text{ mm}$$

$$u_{out} = V_{ED} / v_{Rd,c} * d_{eff}$$

$$u_{out} = 3548 \text{ mm}$$

$$l = (2 * a_1) + (2 * b_1) + c_1$$

$$| = 778 \text{ mm}$$

$$a_1 = x_{\text{out}} - 62,5 - h_n = \text{lengte onderkant ponshoedje}$$

$$a_1 = 109 \text{ mm}$$

$$hp = h - (2 * c) - (2 * \varnothing_{\text{boven}}) - (2 * \varnothing_{\text{onder}}) = \text{hoogte ponshoedje}$$

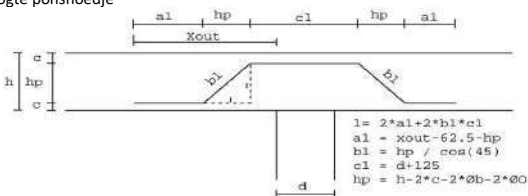
$$h_p = 90 \text{ mm}$$

$$b_1 = h_p / \cos(45)$$

$$b_1 = 127 \text{ mm}$$

$$c_1 = d + 125 = \text{lengte bovenkant ponshoedje}$$

$$C_1 = 305 \text{ mm}$$



$$v_{Ed} = 0,819 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rdc} = 0,542 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,prov} = 0,436 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} \leq 0,75 * v_{Rd,c} + v_{Rd,s,prov}$$

Ponswapening voldoet

Hybride

(Ontwerp tgv scheurmoment)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand
Vloerdikte	180 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ³
Dekking (C _{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²
Wapening	6		
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm		
A _s	283 mm ² /m		

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix 4D	$f_{fcrep} =$	26,73 N/mm ²
Kwaliteit	65/60BG	$f_{eqk,3} =$	4,42 N/mm ²
Hoeveelheid	35,00 kg/m ³		

Belastingcombinaties

Fundamentele

6.10a			
$P_{Ed} = 1,35 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k * \psi_0$	$P_{Ed} =$	72,97	kN/m ²
6.10b			
$P_{Ed} = 1,2 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k$	$P_{Ed} =$	72,36	kN/m ²

Rekenwaarde belasting

$P_{Ed} =$	72,97	kN/m ²
------------	-------	-------------------

Frequente

$P_{freq} = 1,0 * qG;k + 1,0 * \psi_1 * qQ;k$	$P_{freq} =$	49,50	kN/m ²
---	--------------	-------	-------------------

Scheurmoment

$$M_{cr} = 1,4 * \sigma_{cr,b} * W$$

$$W = 1/6 * b * h^2$$

$$W = 5400000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{cr,b} = 0,85 * f_{ctfl,m,0}$$

$$\sigma_{cr,b} = 3,58 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctfl,m,0} = (0,9 * (1,05 + (0,05 * (f_{cc,k,0} + 8))) * (1600-h))/1000$$

$$f_{ctfl,m,0} = 4,22 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 27,10 \text{ kNm}$$

Ontwerpen hybride doorsnede, boven

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{cr} \leq M_{wmax}$

De capaciteit van een staalvezelbetondoorsnede met betonstaal in de bruikbaarheidsgrenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{wmax} = (2/3 * h_x * N_1) + (1/2 * (h - h_x) * T_{2.1}) + (2/3 * (h - h_x) * T_{2.2}) + ((d - h_x) * T_1)$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	35 kg/m3

Capaciteit vezels:

$$f_{ftrep,2} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ftrep,3} = 1,96 \text{ N/mm}^2$$

Aanname toe te passen wapeningsstaal :

Diameter	Ø 6 mm	<u>Controle wapeningspercentage</u>
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm	Minimale wapeningspercentage 0,015%
$A_{s,net}$	282,74 mm ²	

$x = (A_s * f_{yk}) / (0,5 * f_{ck} * b)$ % = $A_{s,prov} / b * h$

$$x = 62,87 \text{ mm} \quad \% = 0,00157$$

$d = h - c - 1/2 * \phi_{hoofdwapening}$ Voldoende wapening toegepast

$$d = 141,00 \text{ mm}$$

$d_f = ((h - h_x) / 2) + h_x$ Controle betonstuik
Toelaatbare betonstuik

$$d_f = 121,43 \text{ mm} \quad f_{ck} = 30,00 \text{ N/mm}^2$$

$$W_{max} = 0,30 \text{ mm} \quad \text{Optredende betonstuik}$$

$$\epsilon_{ft,max} = W_{max} / (2 * (h - h_x)) \quad \sigma_c = N_1 / (b * 2/3x)$$

$$\epsilon_{ft,max} = 0,00128 \quad \sigma_c = 6,56 \text{ N/mm}^2$$

Optredende betonspanning < toelaatbare

$$N_1 = 0,5 * h_x * b * f_{crep} * (\epsilon_{ft,max} / 0,0021) * (h_x / (h - h_x))$$

$$N_1 = 275023,83 \text{ N} \quad \text{SOM druk: } 275023,83$$

$$T_1 = A_s * E_s * ((d - h_x) / (h - h_x)) * \epsilon_{ft,max}$$

$$T_1 = 48304,74 \text{ N}$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2})$$

$$T_{2.1} = 226652,19 \text{ N} \quad \text{SOM Trek: } 275023,83$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_x) * ((\epsilon_{ft,max} / 25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$$

$$T_{2.2} = -66,90 \text{ N} \quad \text{Evenwicht in de doorsnede}$$

$$M_{wmax} = 27,64 \text{ kNm}$$

$$M_{wmax} \geq M_{cr}$$

Doorsnedecapaciteit voldoet

De rek van de doorsnede is gelimiteerd aan de maximale scheurwijdte-eis vanuit je millieuklasse. Zolang deze rek niet overscheden wordt, voldoet de doorsnede altijd aan de scheurwijdte-eis.

Aanname paalraster tgv paal draagvermogen

Middenveld

$l_x = \sqrt{(\text{Paal draagvermogen} / PEd)}$

$l_x =$ 1935 mm

Hoekveld

$l_x = 0,8 * l_{x,\text{middenveld}}$

$l_x =$ 1550 mm

Samenvatting

Paalraster

Middenveld 1935 mm x 1935 mm

Hoekveld 1550 mm x 1550 mm

Randveld 1550 mm x 1935 mm

Verhouding randveld

$\text{verhouding,randveld} = l_{x,\text{middenveld}} / l_{x,\text{hoekveld}}$

$\text{verhouding,randveld} =$ 1,24839 mm $1550 \text{ mm} \geq 0,8 * 1935 \text{ mm}$

Kleinste L $\geq$ 0,8 * grootste L

Stelling voldoet, GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

$M_{\text{freq,boven}} =$ 23,26 kNm

$M_{\text{wmax}} > M_{\text{freq}}$, Doorsnede voldoet in de BGT

Ontwerpen hybride doorsnede, onder

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{cr} \leq M_{wmax}$

De capaciteit van een staalvezelbetondoorsnede met betonstaal in de bruikbaarheidsgrenstoestand mag als volgt worden berekend:

$M_{wmax} = (2/3 * h_x * N_1) + (1/2 * (h - h_x) * T_{2.1}) + (2/3 * (h - h_x) * T_{2.2})$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type Dramix_4D

Kwaliteit 65/60BG

Hoeveelheid 35 kg/m³

Capaciteit vezels:

$f_{\text{ftrep},2} =$ 1,94

$f_{\text{ftrep},3} =$ 1,96

$x =$ 59,53 mm

$d_f = ((h - h_x) / 2) + h_x$

$d_f =$ 119,77 mm

$W_{\text{max}} =$ 0,30 mm

$\epsilon_{\text{ft,max}} = W_{\text{max}} / (2 * (h - h_x))$

$\epsilon_{\text{ft,max}} =$ 0,001245

$N_1 = 0,5 * h_x * b * f_{\text{crep}} * (\epsilon_{\text{ft,max}} / 0,0021) * (h_x / (h - h_x))$

$N_1 =$ 233170 N

$T_{2.1} = b * (h - h_x) * (f_{\text{ftrep},2})$

$T_{2.1} =$ 233103 N

$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_x) * ((\epsilon_{\text{ft,max}} / 25 * 10^{-3}) * (f_{\text{ftrep},2} - f_{\text{ftrep},3}))$

$T_{2.2} =$ -66,90 N

$M_{wmax} =$ 23,30 kNm

$M_{\text{freq,onder}} =$ 19,55 kNm

$M_{wmax} > M_{\text{freq}}$, Doorsnede voldoet in de BGT

De rek van de doorsnede is gelimiteerd aan de maximale scheurwijdte-eis vanuit de milieuklasse. Zolang deze rek niet overscheden wordt, voldoet de doorsnede altijd aan de scheurwijdte-eis.

Hybride

(BGT aanname controle UGT momenten)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand		
Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
HSP-diameter	180 mm		
Paalraster,middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Paalraster,hoekveld	1550 mm	x	1550 mm
Paalraster,randveld	1550 mm	x	1935 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Bovenwapening

Wapening	∅ 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	283 mm ² /m

Onderwapening

Wapening	∅ 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	283 mm ² /m

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix_4D	$f_{fcrep} =$	26,73 N/mm ²
Kwaliteit	65/60BG	$f_{eqk,3} =$	4,42 N/mm ²
Hoeveelheid	35,00 kg/m ³		

Belastingcombinaties

Fundamentele

6.10a

$$P_{Ed} = 1,35 * K_{FI} * q_{G;k} + 1,5 * K_{FI} * q_{Q;k} * \psi_0 \quad P_{Ed} = \quad 72,97 \text{ kN/m}^2$$

6.10b

$$P_{Ed} = 1,2 * K_{FI} * q_{G;k} + 1,5 * K_{FI} * q_{Q;k} \quad P_{Ed} = \quad 72,36 \text{ kN/m}^2$$

Rekenwaarde belasting

$$P_{Ed} = \quad 72,97 \text{ kN/m}^2$$

Uiterste momenten

Het grootste moment komt voor uit de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.

Er is gekozen voor de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.

$$M_{Ed, \text{steunpunt, midden}} = \quad 31,73 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed, \text{steunpunt, rand}} = \quad 34,29 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed, \text{veld, midden}} = \quad 21,99 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed, \text{veld, rand}} = \quad 29,10 \text{ kNm/m}$$

Controle hybride doorsnede

Boven

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

De capaciteit van een staalvezelbetondoorsnede met betonstaal in de uiterste grenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = (11/18 * h_{xu} * N_1) + (1/2 * (h - h_{xu}) * T_{2.1}) + (2/3 * (h - h_{xu}) * T_{2.2}) + ((d - h_{xu}) * T_1)$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	35 kg/m ³

Capaciteit vezels:

$f_{ftrep,2} =$	1,55 N/mm ²
$f_{ftrep,3} =$	1,57 N/mm ²

Aanname toe te passen wapeningsstaal :

Diameter	Ø 6 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
$A_{s,net} =$	283 mm ²

$$x_u = 22,07 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$
$$d = 141 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{ft} = 2,5\%$$

$$N_1 = 0,75 * h_{xu} * b * f_{fcd}$$
$$N_1 = 368810 \text{ N}$$

$$T_1 = A_s * f_{yd}$$
$$T_1 = 122932 \text{ N}$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_{xu}) * (f_{ftd,2})$$
$$T_{2.1} = 244469 \text{ N}$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$$
$$T_{2.2} = -1408,70 \text{ N}$$

$$M_{Rd} = 39,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,boven} = 34,29 \text{ kNm}$$

$M_{Rd} > M_{Ed}$, Doorsnede voldoet

Controle hybride doorsnede

Onder,midden

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

De capaciteit van een staalvezelbetondoorsnede met betonstaal in de uiterste grenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = (11/18 * h_{xu} * N_1) + (1/2 * (h - h_{xu}) * T_{2.1}) + (2/3 * (h - h_{xu}) * T_{2.2})$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	35 kg/m ³

Capaciteit vezels:

$$f_{ftrep,2} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ftrep,3} = 1,57 \text{ N/mm}^2$$

$$x_u = 15,34 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{ft} = 2,5\%$$

$$N_1 = 0,75 * h_{xu} * b * f_{cd}$$

$$N_1 = 256357 \text{ N}$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_{xu}) * (f_{ftd,2})$$

$$T_{2.1} = 254888 \text{ N}$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$$

$$T_{2.2} = -1468,74 \text{ N}$$

$$M_{Rd} = 23,55 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,veld,midden} = 21,99 \text{ kNm}$$

$M_{Rd} > M_{Ed}$, Doorsnede voldoet

Controle hybride doorsnede

Onder,rand

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

De capaciteit van een staalvezelbetonddoorsnede met betonstaal in de uiterste grenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = (11/18 * h_{xu} * N_1) + (1/2 * (h - h_{xu}) * T_{2.1}) + (2/3 * (h - h_{xu}) * T_{2.2}) + ((d - h_{xu}) * T_1)$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	35 kg/m ³

Capaciteit vezels:

$f_{ftrep,2} =$	1,55 N/mm ²
$f_{ftrep,3} =$	1,57 N/mm ²

Aanname toe te passen wapeningsstaal :

Diameter	Ø 6 mm
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
$A_{s,net} =$	283 mm ²

$$x_u = 22,07 \text{ mm}$$

$$d = h - c - 1/2 * \varnothing_{\text{hoofdwapening}} - \varnothing_{\text{hoofdwapening}}$$
$$d = 141 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{ft} = 2,5\%$$

$$N_1 = 0,75 * h_{xu} * b * f_{fcd}$$

$$N_1 = 368810 \text{ N}$$

$$T_1 = A_s * f_{yd}$$

$$T_1 = 122932 \text{ N}$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_{xu}) * (f_{ftd,2})$$

$$T_{2.1} = 244469 \text{ N}$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$$

$$T_{2.2} = -1408,70 \text{ N}$$

$$M_{Rd} = 39,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,veld,rand} = 29,10 \text{ kNm}$$

$M_{Rd} > M_{Ed}$, Doorsnede voldoet

Pons

Controle

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Vloerdikte	180 mm
Vloerafmeting	120 m x 90 m
Oppervlakte	10800 m ²
Inhoud	1944 m ³

Funderingspaal

Paaltype	HSP
Paallengte	15 m
HSP-diameter	180 mm
Betonklasse	C30/37
Paalraster,middenveld	1935 mm x 1935 mm
Paalraster,hoekveld	1550 mm x 1550 mm
Paalraster,randveld	1550 mm x 1935 mm
Aantal palen	2961
Totaal aantal m1 paal	44415 m

Beton

Betonklasse	C30/37	f_{ck} =	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube}$ =	37,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	f_{cd} =	20,00 N/mm ²
		E_{cm} =	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	f_{yd} =	435 N/mm ²
		E_s =	200000 N/mm ²

Bovenwapening

Wapening	Ø 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	283 mm ² /m

Onderwapening,rand

Wapening	Ø 6
h.o.h. wapeningsstaven	100 mm
A _s	283 mm ² /m

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix 4D	f_{fcrep} =	26,73 N/mm ²
Kwaliteit	65/60BG	$f_{eqk,3}$ =	4,42 N/mm ²
Hoeveelheid	35 kg/m ³		

Belastingcombinaties

Omhullende combinaties

Fundamentele

6.10a	$P_{Ed} = 1,35 * KFI * qG; k + 1,5 * KFI * qQ; k * \psi_0$	$P_{Ed} =$	72,9675 kN/m ²
6.10b	$P_{Ed} = 1,2 * KFI * qG; k + 1,5 * KFI * qQ; k$	$P_{Ed} =$	72,36 kN/m ²

Rekenwaarde belasting

$$P_{Ed} = 72,97 \text{ kN/m}^2$$

Karakteristieke

$$P_{freq} = 1,0 * qG; k + 1,0 * qQ; k$$

$$P_{kar} = 54,50 \text{ kN/m}^2$$

Frequente

$$P_{freq} = 1,0 * qG; k + 1,0 * \psi_1 * qQ; k$$

$$P_{freq} = 49,50 \text{ kN/m}^3$$

Berekening ponskracht

$$V_{Ed} = A * P$$

$$V_{Ed} = 273 \text{ kN}$$

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 * d_{eff}$$

$$u_1 = \pi * (c + 4 * d_{eff})$$

$$u_1 = 2375 \text{ mm}$$

$$d_{eff} = (d_y + d_z) / 2 \quad 144 \text{ mm}$$

$$d_y = h - c - 1/2 * \varnothing \text{hoofdwapening} \quad \text{eerste laag}$$

$$d_y = 147 \text{ mm}$$

$$d_z = d_y - \varnothing \text{hoofdwapening} \quad \text{tweede laag}$$

$$d_z = 141 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 * d_{eff}$$

$$v_{Ed} = 0,80 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,c}$

$$v_{Rd,c} = 0,12 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{200 / d_{eff}} \leq 2,0$$

$$k = 2,00$$

$$\rho_1 = V / (p_{1y} * p_{1z}) \leq 0,02$$

$$\rho_1 = 0,0020$$

$$\rho_{1y} = A_s / b * d_y$$

$$\rho_{1y} = 0,0019$$

$$\rho_{1z} = A_s / b * d_z$$

$$\rho_{1z} = 0,0020$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})^{1/3} \geq 0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{Rd,c} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Berekening v_{fd}

$$v_{fd} = 0,18 * f_{eqk,3} / 1,4 * \gamma_{ft}$$

$$v_{fd} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,max}$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250)$$

$$v = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

Controle pons

$$v_{Ed} = 0,80 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd} = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} < v_{Rd}$$

Geen ponswapening nodig

Toets betondrukdiagonaal

$$v_{Ed} = V_{ED} / u_0 * d_{eff}$$

$$v_{Ed} = 3,36 \text{ N/mm}^2$$

$$u_0 = \pi * c$$

$$u_0 = 565 \text{ mm}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,max}, \text{ dus voldoet}$$

Pons

wapening

De ponsweerstand van beton en ponswapening is:

$$V_{Rd} = 0,75 * V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$

Berekening $V_{Rd,s}$

$$V_{Rd,s} = V_{Ed} - 0,75 * V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,s,req} = 0,000$$

Berekening ponswapening

$$V_{Rd,s} = (1,5 * (d/s_r) * A_s * f_{y,ef}) / (u_1 * d) \text{ wordt herschreven als: } A_s / S_r = (V_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{y,ef})$$

$$A_s / S_r = (V_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{y,ef})$$

$$A_s / S_r = 0,0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$f_{y,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_y$$

$$f_{y,ef} = 286 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sw,req} = S_r * 0$$

$$A_{sw,req} = 0,0 \text{ mm}^2$$

Maximale h.o.h. van de ponswapening

$$s_r = 0,75 * d$$

$$s_r = 105 \text{ mm}$$

Minimale doorsnede van 1 staaf

$$A_{sw,min} \geq (0,08 * s_r * s_t * V_{f_{ck}}) / (1,5 * f_{yk})$$

$$A_{sw,min} \geq 6,1 \text{ mm}^2$$

Afstand tussen de staven van de ponswapening

$$s_t = 100 \text{ mm}$$

Toe te passen ponswapening

$$A_{s,prov} = 0,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 0 \emptyset 0$$

Toe te passen ponswapening resulteerd in

$$V_{Rd,s} = (1,5 * (d/s_r) * A_s * f_{y,ef}) / (u_1 * d)$$

$$V_{Rd,s,prov} = 0,000 \text{ N/mm}^2$$

Positie ponswapening

De minimale afstand van de laatste ponswapening tot de zijvlakken van de paal

$$x_{out} = ((u_{out} - (\pi * d)) / (2 * \pi)) - 1,5 * d_{eff}$$

$$x_{out} = 251 \text{ mm}$$

$$u_{out} = V_{Ed} / V_{Rd,c} * d_{eff}$$

$$u_{out} = 3499 \text{ mm}$$

Lengte losse staaf ponshoedje

$$l = (2 * a) + (2 * b) + c$$

$$l = 771 \text{ mm}$$

$$a = x_{out} - 62,5 - h_p = \text{lengte onderkant ponshoedje}$$

$$a = 80 \text{ mm}$$

$$h_p = h - (2 * c) - (2 * \emptyset_{\text{boven}}) = \text{hoogte ponshoedje}$$

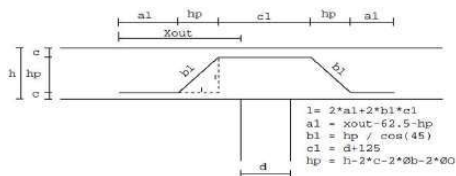
$$h_p = 108 \text{ mm}$$

$$b = h_p / \cos(45)$$

$$b = 153 \text{ mm}$$

$$c = d + 125 = \text{lengte bovenkant ponshoedje}$$

$$c = 305 \text{ mm}$$



Controle ponswapening

$$V_{Ed} = 0,799 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0,542 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,s,prov} = 0,000 \text{ N/mm}^2$$

Geen ponswapening benodigd

Vezels

(Ontwerp tgv scheurmoment)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand
Vloerdikte	180 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C_{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$f_{fcrep} =$	26,73 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Belastingcombinaties

Frequente

$P_{freq} = 1,0 * q_{G;k} + 1,0 * \psi_1 * q_{Q;k}$	$P_{freq} =$	49,50 kN/m ²
---	--------------	-------------------------

Scheurmoment

$$M_{cr} = 1,4 * \sigma_{cr,b} * W$$

$$W = 1/6 * b * h^3$$

$$W = 5400000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{cr,b} = f_{ctfl,m,0}$$

$$\sigma_{cr,b} = 4,22 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctfl,m,0} = (0,9 * (1,05 + (0,05 * (f_{cc,k,0} + 8))) * (1600-h))/1000$$

$$f_{ctfl,m,0} = 4,22 \text{ N/mm}^2$$

$$M_{cr} = 31,88 \text{ kNm}$$

Aanname benodigde hoeveelheid vezels

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{cr} \leq M_{wmax}$

De capaciteit van een staalvezelbetonddoorsnede in de bruikbaarheidsgenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{wmax} = (2/3 * h_x * N_1) + (1/2 * (h - h_x) * T_{2.1}) + (1/3 * (h - h_x) * T_{2.2})$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	40,00 kg/m ³

Capaciteit vezels:

$$f_{ftrep,2} = 2,12$$

$$f_{ftrep,3} = 2,10$$

$$x = 58,92 \text{ mm}$$

$$d_f = ((h - h_x) / 2) + h_x$$

$$d_f = 119,46 \text{ mm}$$

$$w_{max} = 0,30 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{ft,max} = w_{max} / (2 * (h - h_x))$$

$$\epsilon_{ft,max} = 0,00124$$

$$N_1 = 0,5 * h_x * b * f_{fcrep} * (\epsilon_{ft,max} / 0,0021) * (h_x / (h - h_x))$$

$$N_1 = 226082 \text{ N}$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2} - (\epsilon_{ft,max} / 25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$$

$$T_{2.1} = 256521 \text{ N}$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_x) * ((\epsilon_{ft,max} / 25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))$$

$$T_{2.2} = 53,70 \text{ N}$$

$$M_{wmax} = 24,41 \text{ kNm}$$

$$M_{wmax} < M_{cr}$$

Doorsnedecapaciteit voldoet niet, optredend moment te groot voor alleen staalvezels

De rek van de doorsnede is gelimiteerd aan de maximale scheurwijdte-eis vanuit je millieuklasse. Zolang deze rek niet overscheden wordt, voldoet de doorsnede altijd aan de scheurwijdte-eis.

Staalvezels voorstel

Staalsoort staalvezel	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	40,00 kg/m ³

Aanname paalraster tgv vezels

Middenveld

$$l_x = \sqrt{(M_{wmax} / (0,001 * P_{freq} * \text{momentencoefficient}))}$$

$$l_x = 1900 \text{ mm}$$

$$\text{Kleinste } L > 0,8 * \text{grootste } L$$

$$1600 \text{ mm} > 0,8 * 1900 \text{ mm}$$

Stelling voldoet,GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

Hoekveld

$$l_x = \sqrt{(M_{wmax} / (0,001 * P_{freq} * \text{momentencoefficient}))}$$

$$l_x = 1600 \text{ mm}$$

$$M_{wmax} > M_{Freq}$$

$$24,41 > 23,00$$

Stelling klopt, er is voldoende capaciteit

Verhouding randveld

$$\text{verhouding,randveld} = l_{x,\text{middenveld}} / l_{x,\text{hoekveld}}$$

$$\text{verhouding,randveld} = 1,1875$$

Paalrasters

Middenveld	1900 mm	x	1900 mm
Hoekveld	1600 mm	x	1600 mm
Randveld	1600 mm	x	1900 mm

Vezels

(BGT aanname controle aan UGT)

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	ψ2	Omschrijving
Permanent	4,5				Eigen gewicht
Permanent	0				Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	0,8	

Eigenschappen element

Positie element	Vloer/Wand		
Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
HSP-diameter	180 mm		
Paalraster,middenveld	1900 mm	x	1900 mm
Paalraster,hoekveld	1600 mm	x	1600 mm
Paalraster,randveld	1600 mm	x	1900 mm

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{ck,cube} =$	37,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
		$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix_4D	$f_{fcd} =$	22,28 N/mm ²
Kwaliteit	65/60BG		
Hoeveelheid	40,00 kg/m ³		

Belastingcombinaties

Fundamentele

6.10a

$$P_{Ed} = 1,35 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k * \psi_0 \quad P_{Ed} = 72,97 \text{ kN/m}^2$$

6.10b

$$P_{Ed} = 1,2 * KFI * qG;k + 1,5 * KFI * qQ;k \quad P_{Ed} = 72,36 \text{ kN/m}^2$$

Rekenwaarde belasting

$$P_{Ed} = 72,97 \text{ kN/m}^2$$

Uiterste moment

Het grootste moment komt voor uit de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.
Er is gekozen voor de Lineair-elastische (GTB) momenten berekening.

$$\begin{aligned} M_{Ed, \text{steunpunt, midden}} &= 30,52 \text{ kNm/m} \\ M_{Ed, \text{steunpunt, rand}} &= 33,91 \text{ kNm/m} \\ M_{Ed, \text{veld}} &= 30,41 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

Controle aanname staalvezels

Boven

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

De capaciteit van een staalvezelbetonddoorsnede in de uiterstegenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = (11/18 * h_{xu} * N_1) + (1/2 * (h - h_{xu}) * T_{2.1}) + (1/3 * (h - h_{xu}) * T_{2.2})$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	40,00 kg/m ³

Capaciteit vezels:

$$\begin{aligned} f_{ftd,2} &= 1,70 \\ f_{ftd,3} &= 1,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_u &= (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd}))}) / (2 * \beta) \\ x_u &= 21,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_f &= ((h - h_{xu}) / 2) + h_{xu} \\ d_f &= 100,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_1 &= 0,75 * h_{xu} * b * f_{cd} \\ N_1 &= 358411 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{ft} = 2,5 \%$$

$$\begin{aligned} T_{2.1} &= b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2} - ((\epsilon_{ft} / 25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3}))) \\ T_{2.1} &= 266564 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{2.2} &= 1/2 * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3})) \\ T_{2.2} &= 1135,21 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 25,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} < M_{Ed}$$

Doorsnedecapaciteit voldoet niet, optredend moment te groot voor alleen staalvezels

Controle aanname staalvezels

Onder

Om ervoor te zorgen dat de doorsnede voldoende capaciteit heeft om de belastingen op te kunnen nemen moet gelden dat : $M_{Ed} \leq M_{Rd}$

De capaciteit van een staalvezelbetonddoorsnede in de uiterstegenstoestand mag als volgt worden berekend:

$$M_{Rd} = (11/18 * h_{xu} * N_1) + (1/2 * (h - h_{xu}) * T_{2.1}) + (1/3 * (h - h_{xu}) * T_{2.2})$$

Aanname toe te passen staalvezels :

Type	Dramix_4D
Kwaliteit	65/60BG
Hoeveelheid	40,00 kg/m3

Capaciteit vezels:

$$f_{ftd,2} = 1,70$$

$$f_{ftd,3} = 1,68$$

$$x_u = (d - \sqrt{d^2 - ((4 * \beta * M_{Ed}) / (\alpha * b * f_{cd}))}) / (2 * \beta)$$

$$x_u = 23,72 \text{ mm}$$

$$d_f = ((h - h_{xu}) / 2) + h_{xu}$$

$$d_f = 101,86 \text{ mm}$$

$$N_1 = 0,75 * h_{xu} * b * f_{cd}$$

$$N_1 = 396323 \text{ N}$$

$$\epsilon_{ft} = 2,5 \%$$

$$T_{2.1} = b * (h - h_x) * (f_{ftrep,2} - ((\epsilon_{ft} / 25 * 10^{-3}) * (f_{ftrep,2} - f_{ftrep,3})))$$

$$T_{2.1} = 262749 \text{ N}$$

$$T_{2.2} = 1/2 * b * (h - h_{xu}) * ((\epsilon_{ft} / (25 * 10^{-3})) * (f_{ftd,2} - f_{ftd,3}))$$

$$T_{2.2} = 1118,96 \text{ N}$$

$$M_{Rd} = 26,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} < M_{Ed}$$

Doorsnedecapaciteit voldoet niet, optredend moment te groot voor alleen staalvezels

Paalraster

Middenveld

$$l_x = \sqrt{(M_{Rd} / (0,001 * P_{Ed} * \text{momentencoefficient}))}$$

$$l_x = 1600 \text{ mm}$$

$$\text{Kleinste } L > 0,8 * \text{grootste } L$$

$$1350 \text{ mm} > 0,8 * 1600 \text{ mm}$$

Stelling voldoet, GTB-Tabellen mogen gebruikt worden

Hoekveld

$$l_x = \sqrt{(M_{Rd} / (0,001 * P_{Ed} * \text{momentencoefficient}))}$$

$$l_x = 1350 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$25,89 > 23,53$$

Stelling klopt, er is voldoende capaciteit

Verhouding randveld

$$\text{verhouding, randveld} = l_{x, \text{middenveld}} / l_{x, \text{hoekveld}}$$

$$\text{verhouding, randveld} = 1,185185185$$

Paalrasters

Middenveld	1600 mm	x	1600 mm
Hoekveld	1350 mm	x	1350 mm
Randveld	1350 mm	x	1600 mm

Pons

Controle

Algemeen

Belastingcategorie	E	Opslagruimte
Gevolgsklasse	CC1	
KFI =	0,9	

Belasting

	kN/m ²	ψ0	ψ1	Omschrijving
Permanent	4,5			Eigen gewicht
Permanent	0			Rustende belasting
Veranderlijk	50	1	0,9	

Eigenschappen element

Vloerdikte	180 mm		
Vloerafmeting	120 m	x	90 m
Oppervlakte	10800 m ²		
Inhoud	1944 m ³		

Funderingspaal

Paaltype	HSP		
Paallengte	15 m		
HSP-diameter	180 mm		
Betonklasse	C30/37		
Paalraster,middenveld	1935 mm	x	1935 mm
Paalraster,hoekveld	1350 mm	x	1350 mm
Paalraster,randveld	1350 mm	x	1600 mm
Aantal palen	2961		
Totaal aantal m1 paal	44415 m		

Beton

Betonklasse	C30/37	$f_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Milieuklasse	XC4	$f_{cd} =$	20,00 N/mm ²
Dekking (C _{nom})	30	$E_{cm} =$	32837 N/mm ²

Wapening

Staalsoort	B500	$f_{yd} =$	435 N/mm ²
		$E_s =$	200000 N/mm ²

Staalvezels

Staalsoort staalvezel	Dramix_4D		
Kwaliteit	65/60BG	$f_{eqk,3} =$	4,74 N/mm ²
Hoeveelheid	40,00 kg/m ³		

Belastingcombinaties

Omhullende combinaties

Fundamentele

6.10a	$P_{Ed} = 1,35 \cdot K_{FI} \cdot q_G; k + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot q_Q; k \cdot \psi_0$	$P_{Ed} =$	72,97 kN/m ²
6.10b	$P_{Ed} = 1,2 \cdot K_{FI} \cdot q_G; k + 1,5 \cdot K_{FI} \cdot q_Q; k$	$P_{Ed} =$	72,36 kN/m ²

Rekenwaarde belasting

$$P_{Ed} = 72,97 \text{ kN/m}^2$$

Berekening ponskracht

$$V_{Ed} = A \cdot P$$

$$V_{Ed} = 273 \text{ kN}$$

Berekening v_{Ed}

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 \cdot d$$

$$u_1 = \pi \cdot (c + 4 \cdot d)$$

$$u_1 = 2262 \text{ mm}$$

$$d_f = 0,75 \cdot h$$

$$d_f = 135 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = V_{Ed} / u_1 \cdot d$$

$$v_{Ed} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,c}$

$$v_{Rd,c} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0$$

$$k = 2,00$$

$$v_{Rd,c} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$v_{Rd,c} = 0,54 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{f,d}$

$$v_{f,d} = 0,18 \cdot f_{eqk,3} / 1,4 \cdot y_{ft}$$

$$v_{f,d} = 0,49 \text{ N/mm}^2$$

Berekening $v_{Rd,max}$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v = 0,6 * (1 - f_{ck}/250)$$

$$v = 0,528$$

$$v_{Rd,max} = 0,4 * v * f_{cd}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

Controle pons

$$v_{Ed} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd} = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} < v_{Rd}$$

Geen ponswapening nodig

Toets betondrukdiagonaal

$$v_{Ed} = V_{ED} / u_0 * d$$

$$v_{Ed} = 3,58 \text{ N/mm}^2$$

$$u_0 = \pi * c$$

$$u_0 = 565 \text{ mm}$$

$$v_{Rd,max} = 4,224 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{Ed} < v_{Rd,max}, \text{ dus voldoet}$$

Pons

wapening

De ponsweerstand van beton en ponswapening is:

$$V_{Rd} = 0,75 * V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$

Berekening vRd,s

$$V_{Rd,s} = V_{Ed} - 0,75 * V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,s,req} = 0,000$$

Berekening ponswapening

$$V_{Rd,s} = (1,5 * (d/s_r) * A_s * f_{y,ef}) / (u_1 * d) \text{ wordt herschreven als: } A_s / S_r = (V_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{y,ef})$$

$$A_s / S_r = (V_{Rd,s} * u_1) / (1,5 * f_{y,ef})$$

$$A_s / S_r = 0,0 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$f_{y,ef} = 250 + 0,25 d \leq f_y$$

$$f_{y,ef} = 283,75 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sw,req} = S_r * 0$$

$$A_{sw,req} = 0,0 \text{ mm}^2$$

Maximale h.o.h. van de ponswapening

$$s_r = 0,75 * d$$

$$s_r = 100 \text{ mm}$$

Minimale doorsnede van 1 staaf

$$A_{sw,min} \geq (0,08 * s_r * s_t * V_{Ed}) / (1,5 * f_{yk})$$

$$A_{sw,min} \geq 5,8 \text{ mm}^2$$

Afstand tussen de staven van de ponswapening

$$s_t = 100 \text{ mm}$$

Toe te passen ponswapening

$$A_{s,prov} = 0,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,prov} = 0 \emptyset 0$$

Toe te passen ponswapening resulteerd in

$$V_{Rd,s} = (1,5 * (d/s_r) * A_s * f_{y,ef}) / (u_1 * d)$$

$$V_{Rd,s,prov} = 0,000 \text{ N/mm}^2$$

Positie ponswapening

De minimale afstand van de laatste ponswapening tot de zijvlakken van de paal

$$x_{out} = ((u_{out} - (\pi * d)) / (2 * \pi)) - 1,5 * d_{eff}$$

$$x_{out} = 0 \text{ mm}$$

$$u_{out} = V_{Ed} / V_{Rd,c} * d_{eff}$$

$$u_{out} = 0 \text{ mm}$$

Lengte losse staaf ponshoedje

$$l = (2 * a) + (2 * b) + c$$

$$l = 0 \text{ mm}$$

$$a = x_{out} - 62,5 - h_p = \text{lengte onderkant ponshoedje}$$

$$a = 0 \text{ mm}$$

$$h_p = h - (2 * c) = \text{hoogte ponshoedje}$$

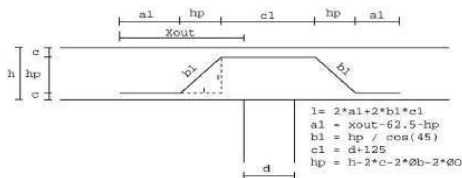
$$h_p = 0 \text{ mm}$$

$$b = h_p / \cos(45)$$

$$b = 0 \text{ mm}$$

$$c = d + 125 = \text{lengte bovenkant ponshoedje}$$

$$c = 0 \text{ mm}$$



Controle ponswapening

$$V_{Ed} = 0,895 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,c} = 0,542 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rd,s,prov} = 0,000 \text{ N/mm}^2$$

Geen ponswapening benodigd

Doorbuiging

Controle

Algemeen

Vloer Middenveld

Traditioneel

Afmetingen vloer

Vloerdikte 180 mm

Funderingspalen

Paalraster 1935 mm x 1935 mm

Doorbuiging Traditioneel

$$\lambda = l_{\text{eff}} / d$$

$$\lambda = 10,75$$

Controle

$$\lambda \leq \text{Slankheidseis}$$

$$\text{Slankheidseis} = 31$$

Doorbuiging voldoet

Hybride

Afmetingen vloer

Vloerdikte 180 mm

Funderingspalen

Paalraster 1935 mm x 1935 mm

Doorbuiging Hybride

$$\lambda = l_{\text{eff}} / d$$

$$\lambda = 10,75$$

Controle

$$\lambda \leq \text{Slankheidseis}$$

$$\text{Slankheidseis} = 31$$

Doorbuiging voldoet

GTB-Tabellen

Toelichting bij tabel 8.2.a ¹⁾

Voor het bepalen van de krachtsverdeling in gelijkmatig verdeeld belaste rechthoekige platen mag in de volgende gevallen gebruik worden gemaakt van tabel 8.2.a:

- a. Bij platen die ter plaatse van de ondersteuning vrij zijn opgelegd of volledig zijn ingeklemd.
- b. Bij platen die ter plaatse van een of meer ondersteuning gedeeltelijk zijn ingeklemd onder voorwaarde dat bij gedeeltelijke inklemming gebruik wordt gemaakt van het hierna gestelde onder *Momenten*.
- c. Bij platen die ter plaatse van een of meer ondersteuning doorlopen en waarbij wordt voldaan aan de voorwaarden dat:
 1. de kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de quasi-blijvende (ψ_2) veranderlijke belasting op een veld niet kleiner is dan 0,6 maal de grootste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een ander veld;
 2. de kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een veld niet kleiner is dan 0,8 maal de grootste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een ander veld;
 3. de kleinste theoretische overspanning van een veld niet kleiner is dan 0,8 maal de grootste theoretische overspanning van een ander veld;
 4. bij ondersteuning waarover de plaat doorloopt, een inklemming wordt verondersteld.
- d. Bij platen die ter plaatse van een of meer ondersteuning doorlopen en waarbij niet wordt voldaan aan de voorwaarden genoemd onder c.1 tot en met 3, onder voorwaarde dat:
 1. bij ondersteuning waarover de plaat doorloopt, een gedeeltelijke inklemming wordt verondersteld;
 2. bij gedeeltelijke inklemming gebruik wordt gemaakt van het hierna gestelde onder *Momenten*.

In alle onder a. tot en met d. genoemde gevallen moet tevens worden voldaan aan de hierna vermelde bepalingen bij *Wapeningsverdeling* en *Herverdeling*.

Momenten

Voor het bepalen van de maatgevende steunpuntmomenten moeten de coëfficiënten van tabel 8.2.a worden vermenigvuldigd met de grootste waarde van $0,001 q_d l_x^2$, gebaseerd op de som van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op één der beide aan het beschouwde steunpunt grenzende velden. Voor het bepalen van de maatgevende veldmomenten moeten de coëfficiënten van tabel 8.2.a worden vermenigvuldigd met $0,001 q_d l_x^2$, gebaseerd op de som van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op het beschouwde veld.

De tabel geldt voor vrije opleggingen of volledige inklemmingen.

Momenten bij gedeeltelijke inklemming moeten worden bepaald door superpositie van de momenten in twee gelijkmatig verdeeld belaste platen, waarvan de een volledig ingeklemd en de ander vrij opgelegd is. Aan de volledig ingeklemde plaat wordt een belasting βq_d toegekend en aan de vrij opgelegde plaat een belasting $(1 - \beta) q_d$.

De waarde van β moet recht evenredig worden gekozen aan de mate van inklemming die aan de randen wordt toegekend.

Wapeningsverdeling

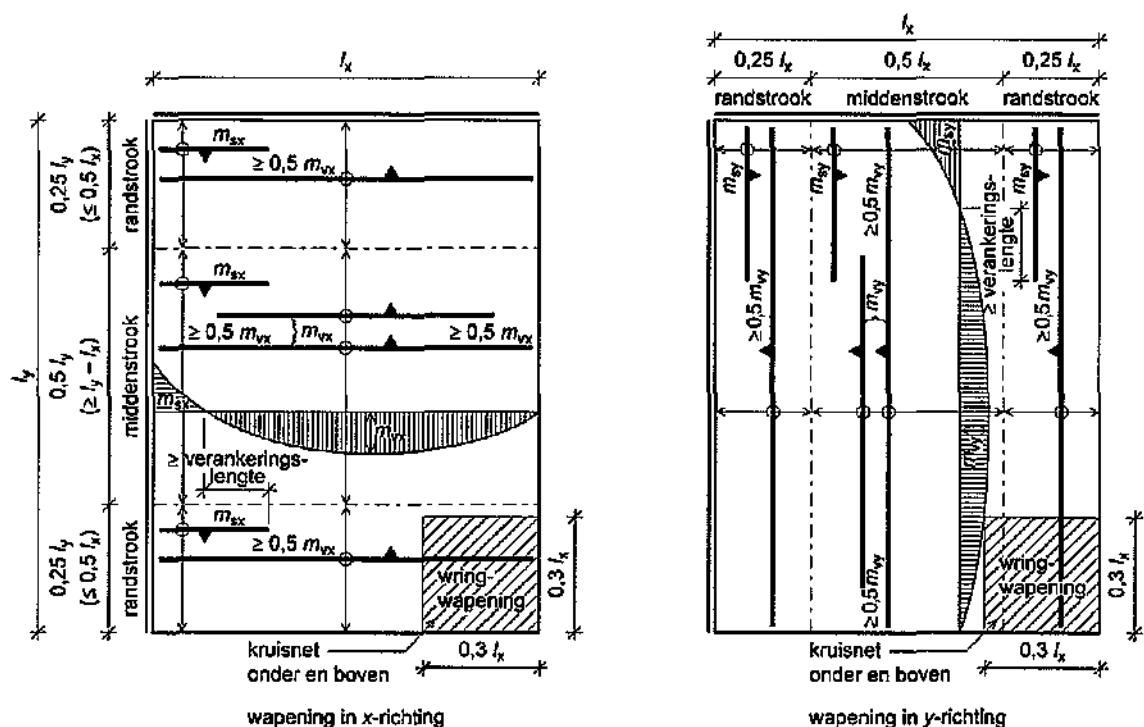
Indien de maatgevende momenten in de middenstroken worden bepaald met behulp van de coëfficiënten van tabel 8.2.a, moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan:

¹⁾ Voor strokenvloeren, zie CUR-Aanbeveling 99.

- de wapening per lengte mag over de strookbreedte niet variëren;
- de hoeveelheid veldwapening in de randstrook moet ten minste de helft van de wapeningshoeveelheid in de hieraan evenwijdig lopende middenstrook bedragen; de hoeveelheid steunpuntwapening in de randstrook moet gelijk zijn aan de hoeveelheid steunpuntwapening in de hieraan evenwijdig lopende middenstrook;
- in de lengterichting van de middenstroken moet ten minste de helft van de veldwapening doorlopen tot voorbij de dag van de oplegging; in de randstroken moet de veldwapening onverminderd tot voorbij de dag van de oplegging doorlopen;
- in de hoeken tussen vrij opgelegde zijden moet aan de boven- en onderzijde, in beide richtingen, een wapening worden aangebracht gelijk aan de grootste veldwapening per lengte in een middenstrook, die zich in beide richtingen moet uitstrekken over een afstand van ten minste $0,3 l_x$ vanaf de ondersteuning.

Toelichting

Bij het wapenen van een plaat beschikt men - in het bijzonder voor de wapeningsverdeling - over een groot aantal vrijheidsgraden. Gekozen is voor een gebruikelijke wapeningsverdeling, waarbij de veldwapening in de randstrook ten opzichte van de middenstrook wordt gehalveerd. De maatgevende momenten in de middenstroken zijn in eerste instantie gelijkgesteld aan de maximale momenten, bepaald met de lineaire elasticiteitstheorie. Vervolgens is met behulp van de vloeilijntheorie de gekozen wapeningsverdeling gecontroleerd. Uit deze controle resulteerde in sommige gevallen een verhoging van de maatgevende momenten, in bepaalde gevallen moest extra wringwapening in de hoeken worden voorgeschreven. De voorwaarden voor de wapeningsverdeling zijn gegeven in figuur 8.1.



8.1 Voorwaarden voor de wapeningsverdeling

Herverdeling

Op de met behulp van de coëfficiënten van tabel 8.2.a bepaalde momenten is herverdeling toegestaan in één of beide richtingen.

Toelichting bij tabellen 8.3 t.m. 8.25¹⁾**Algemeen**

De gegevens betreffen platen met een rechthoekige plattegrond onder een gelijkmatig verdeelde belasting.

8.2.b toont het overzicht van de beschouwde plaattypen en randvoorwaarden.

Met uitzondering van de puntvormig ondersteunde platen, worden van elk plaattype de coëfficiënten op twee naast elkaar liggende bladen als volgt verstrekt:

linker blad: – de totale buigende momenten in de plaat;

– de buigende momenten in de balken;

– het geschematiseerde dwarskrachtenverloop in de balken;

– de doorbuigingscoëfficiënt voor de plaat;

rechter blad: – de wapeningsmomenten per lengte in de plaat.

Van de puntvormig ondersteunde platen worden op één blad verstrekt:

– de wapeningsmomenten per lengte in de plaat;

– de doorbuigingscoëfficiënt voor de plaat.

De waarden in de tabellen zijn berekend volgens de lineaire elasticiteitstheorie (EC2, 5.4) met $\nu = 0$. De berekende krachtsverdeling is niet herverdeeld, zodat de resultaten zowel voor de gebruikstoestand als voor de bezwijktoestand kunnen worden gebruikt.

Voor puntvormig ondersteunde platen gelden de volgende aanvullende bepalingen:

1. de belasting op elk veld is gelijkmatig verdeeld;
2. de kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de quasi-blijvende (ψ_2) veranderlijke belasting op een veld is niet kleiner dan 0,6 maal de grootste waarde van de som van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een ander veld;
3. de kleinste waarde van de som van de rekenwaarde van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een veld is niet kleiner dan 0,8 maal de grootste waarde van de som van de blijvende belasting en de extreme veranderlijke belasting op een ander veld;
4. de kleinste hart-op-hartafstand van de kolommen in de beschouwde richting is niet kleiner dan 0,8 maal de grootste hart-op-hartafstand van de kolommen in die richting.

Voor die situaties waarin niet wordt voldaan aan de voorwaarden 2 en 3, zie 8.1.i.

Wapeningsmomenten

De wapeningsmomenten m^*_{xx} en m^*_{yy} in de plaat zijn als volgt bepaald:

$$m^*_{xx} = m_{xx} \pm m_{xy} \text{ (fig. 8.2)}$$

$$m^*_{yy} = m_{yy} \pm m_{xy}$$

waarin:

m_{xx} is het buigend moment per lengte in x-richting;

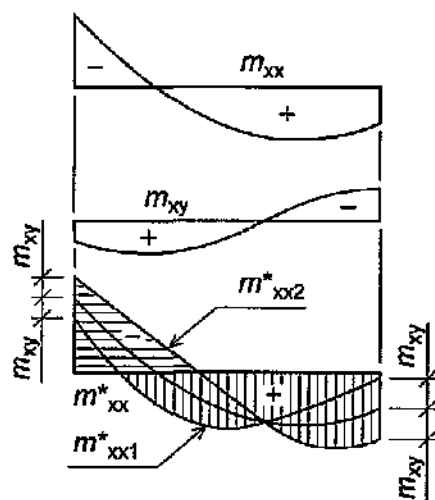
m_{yy} is het buigend moment per lengte in y-richting;

m_{xy} is het wringend moment per lengte.

De platen zijn daartoe verdeeld in middenstroken en rand- of kolomstroken (fig. 8.3 en 8.4)

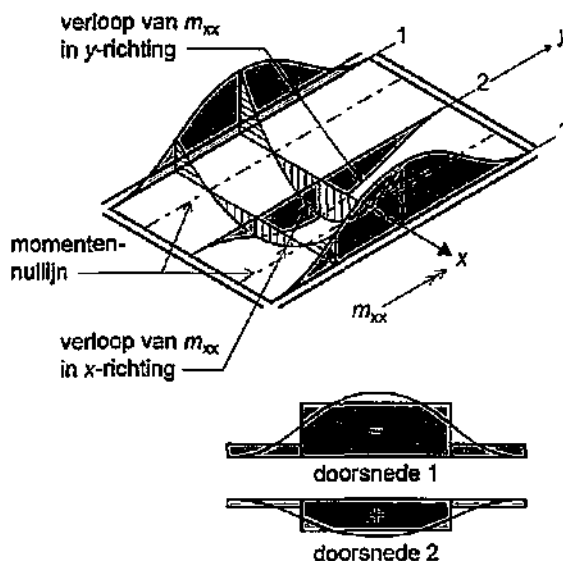
Uit de wapeningsmomenten is in een aantal doorsneden per strook het gemiddelde wapeningsmoment over de strookbreedte bepaald. Deze waarden worden per beschouwde doorsnede over de breedte van de strook constant gehouden (fig. 8.5).

¹⁾ Voor strokenvloeren, zie CUR-Aanbeveling 99.



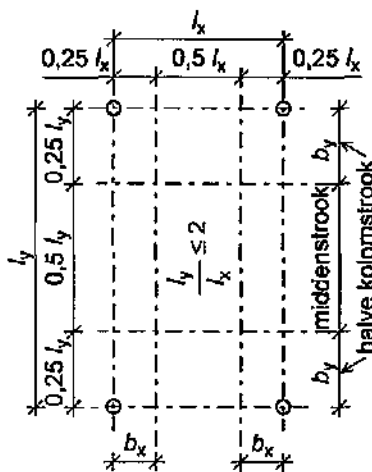
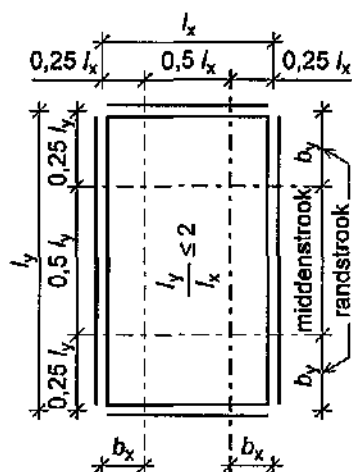
$$m_{xx1}^* = m_{xx} + m_{xy}$$

$$m_{xx2}^* = m_{xx} - m_{xy}$$



8.2 Wapeningsmomenten in x-richting

8.5 Wapeningsstroken



8.3 Lijnvormig ondersteunde platen

8.4 Puntvormig ondersteunde platen

Voor elke strook is de momentenlijn (in de strooklengte) bepaald door de gevonden waarden uit te zetten en deze punten door een vloeiende lijn te verbinden. In het algemeen ontstaan dan gebogen momentenlijnen, die tot een samenstel van rechte lijnen zijn geschematiseerd. Het resultaat is boven de tabel voor de momentcoëfficiënten van de wapeningsmomenten weergegeven als 'geschematiseerd verloop van de wapeningsmomenten'. De tabelwaarden geven de ordinaten van de geschematiseerde momentenlijnen.

Een gevolg van de schematisering van de momentenlijnen is, dat in het algemeen de momentcoëfficiënten in symmetriedoorsneden van de plaat groter zijn dan uit een elementaire evenwichtsbeschouwing volgt.

Lijnvormig ondersteunde platen

Indien langs een vrij opgelegde rand volgens de tabellen wapening nodig is en bovendien een toevallig inklemmingsmoment (EC2, 9.3.1.2(2)) in beschouwing moet worden genomen, behoeven beide momenten niet te worden gesuperponeerd.

De grootste van beide momenten moet bij de dimensionering worden aangehouden.

Platen met niet-ondersteunde randen

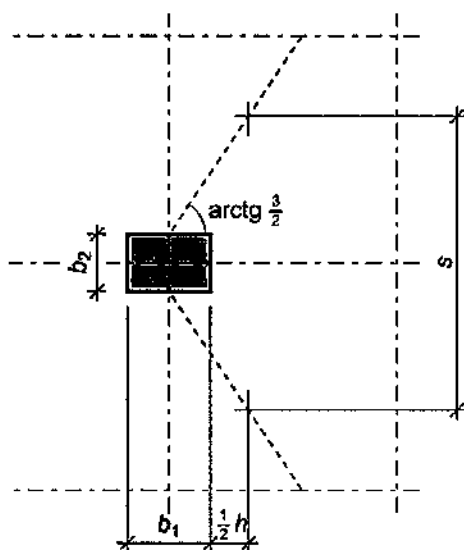
In een aantal gevallen worden voor platen met niet-ondersteunde randen kolomreacties gegeven.

Puntvormig ondersteunde platen

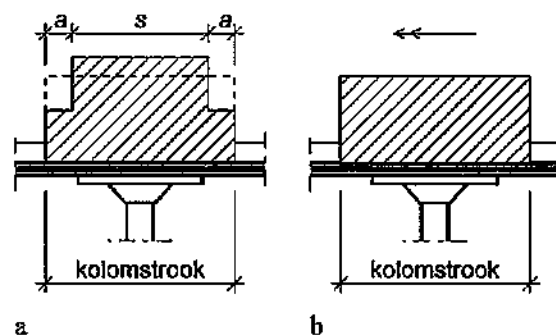
De tabelmomenten gelden voor puntvormige ondersteuning die geen momenten op de plaat overdragen (pendelkolommen). Indien de kolommen wel momenten op de plaat overdragen, kunnen deze momenten worden bepaald met behulp van een raamwerkberekening.

Een nauwkeurig inzicht in het momentenverloop kan worden verkregen door te schematiseren volgens CUR-VB rapport 79, 'Platen Algemeen', onder 9.4.

Bij tussenkolommen moet een onderverdeling van het negatieve moment in de kolomstrook worden aangebracht door gebruik te maken van een wapeningsbaan s , gebaseerd op een spreiding onder 3 : 2 (fig. 8.6). Indien de afstand van hart kolom tot plaatrand groter is dan de breedte van de halve wapeningsbaan, mag vanaf hart kolom niet meer dan de helft van de wapeningsbaan worden aangehouden.



8.6 Spreiding negatief moment in de kolomstrook



8.7 Wapeningsbaan

Van het totale negatieve moment in de kolomstrook boven een tussenkolom, moet 60% gelijkmatig worden verdeeld over de kolomstrookbreedte $2 b_y$ ($2 b_x$), de resterende 40% moet boven de kolom worden geconcentreerd, gelijkmatig verdeeld over de wapeningsbaan s , waarvoor geldt:

- bij vlakke plaatvloeren:

$$s = b_2 + 1,5 b_1 + 1,5 h;$$

- bij vloeren met kolomplaten en/of kolomkoppen:
 bij buiging in x -richting: $s_y = 2 r_{2y} + 3 r_{2x} + 1,5 h_l$;
 bij buiging in y -richting: $s_x = 2 r_{2x} + 3 r_{2y} + 1,5 h_l$;
 waarin:
 b_x, b_y is de halve kolomstrookbreedte (fig. 8.4);
 s is de breedte van de wapeningsbaan;
 b_1 is de kolomafmeting in de beschouwde buigingsrichting;
 b_2 is de kolomafmeting loodrecht op de beschouwde buigingsrichting;
 r_{2x}, r_{2y} is de inklemmingsstraal in x -richting, respectievelijk y -richting.
 Voor h, h_l en de berekening van de inklemmingsstraal, zie 8.1.g en h.

Indien s_y , respectievelijk s_x , groter is dan 0,7 maal de breedte van de kolomstrook, waardoor het gedeelte a in figuur 8.7a te klein wordt, behoeft geen onderverdeling te worden aangebracht (fig. 8.7b).

Indien de kolommomenten van de rand- en hoekkolommen van belang zijn, kan worden volstaan met de berekening van een klein gedeelte van het raamwerk, bestaande uit één of twee velden.

Het inklemmingsmoment M_{Ed} moet over de breedte van de wapeningsbaan in de plaat worden ingeleid. Door die spreiding vanuit de kolom ontstaan wringende momenten. Bij randkolommen is (arbitrair) aangenomen, dat $1/3 M_{Ed}$ als buiging en $2/3 M_{Ed}$ als wringing worden overgedragen. Omdat wringende momenten zowel positief als negatief werken, moet bij de aansluiting van randkolommen worden gerekend met een in de buigingsrichting positief moment van $1/3 M_{Ed}$ en loodrecht op de buigingsrichting, direct naast de kolom op positieve en negatieve momenten van $1/3 M_{Ed}$. Voor hoekkolommen wordt $1/2 M_{Ed}$ aangehouden.

Voor de overdracht van dit moment moeten in de plaat over de breedte van de wapeningsbaan de volgende momenten in rekening worden gebracht (fig. 8.8 en 8.9):

	randkolom	hoekkolom
in x -richting	$m_{xx}^* = -M_{Ed} / s_y$ $m_{xx}^* = +M_{Ed} / 3s_y$	$m_{xx}^* = -(M_{Ed,x} / s_y + M_{Ed,y} / 2s_y)$ $m_{xx}^* = +M_{Ed,y} / 2s_y$
in y -richting	$m_{yy}^* = -M_{Ed} / 3s_x$ $m_{yy}^* = +M_{Ed} / 3s_x$	$m_{yy}^* = -(M_{Ed,y} / s_x + M_{Ed,x} / 2s_x)$ $m_{yy}^* = +M_{Ed,x} / 2s_x$

$$s_x = b_1 + 1,5 (b_2 + h)$$

$$s_y = b_2 + 1,5 (b_1 + h)$$

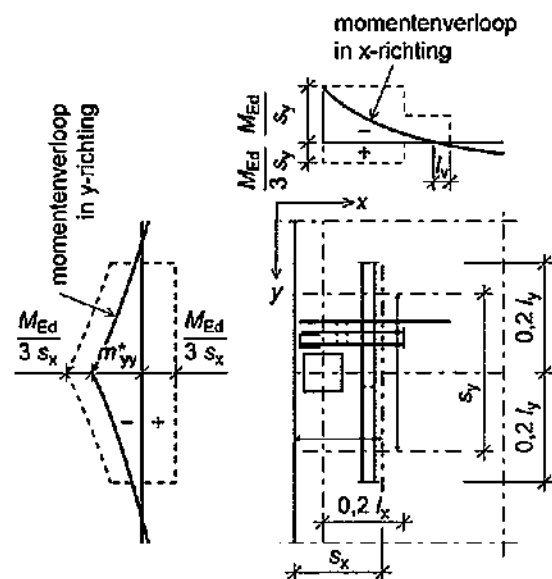
waarin b_1 en b_2 de kolomafmetingen zijn in de beschouwde buigingsrichting.

Voor de wapeningsbaan evenwijdig aan de plaatrand geldt de halve waarde, vermeerderd met de afstand van hart kolom tot plaatrand.

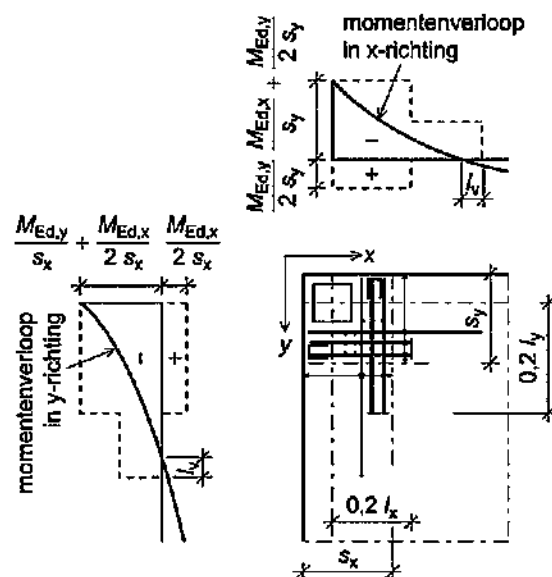
Behalve de negatieve momenten uit de raamwerkberekening en de positieve momenten ten gevolge van de inleiding van het inklemmingsmoment M_{Ed} in de plaat over de breedte van de wapeningsbanen, moeten ook de negatieve en positieve momenten worden bepaald met behulp van de tabellen 8.15 t.m. 8.24. Binnen de wapeningsbaan moeten de grootste momenten worden aangehouden.

De benodigde boven- en onderwapening bij rand- en hoekkolommen moet worden aangebracht over de breedte van de wapeningsbanen s_y , respectievelijk s_x , tot op een afstand van ten minste $0,2 l_x$, respectievelijk $0,2 l_y$ uit het hart van de kolom.

De helft van de bovenwapening moet bovendien de verankeringslengte l_{bd} voorbij de momentennulpunten worden doorgezet (fig. 8.8 en 8.9).



8.8 Momenten en wapening bij randkolommen



8.9 Momenten en wapening bij hoekkolommen

De invloed van een eventuele kolomkop of -plaat mag in de berekening worden betrokken via een reductiefactor ψ_1 . De positieve en negatieve momenten in de middenstrook en de positieve momenten in de kolomstrook mogen worden vermenigvuldigd met de factor ψ_1 .

De factor ψ_1 is ook van toepassing op de negatieve momenten in de kolomstrook. Het bijbehorende verloop van de momenten moet worden bepaald zoals in figuur 8.10 is weergegeven.

$\psi_1 = (1 - 4r_1/3l_1)^2$ voor middenvelden en voor randvelden in de richting waarin de plaat doorgaat;

$\psi_1 = (1 - 2r_1/3l_1)^2$ van de randvelden in de richting loodrecht op de rand en voor hoekvelden in de richting waarin de plaat doorgaat;

$\psi_1 = 1$ voor velden met vier randen waarover de plaat niet doorgaat;

$$r_1 = r_2 + \frac{\alpha_1 - 1}{\alpha_1 + 5,4\alpha_2} \alpha_2 l_1 \geq 0,16 l_1$$

$$r_2 = a_2 - \frac{1}{2} h_2 \leq a_3 \text{ voor kegel- of pyramidevormige kop met tophoek } 90^\circ;$$

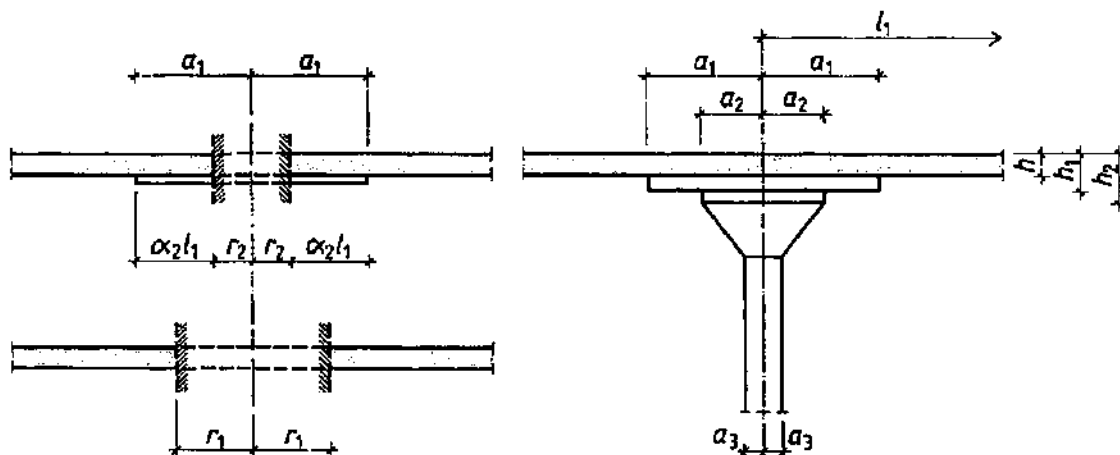
$$\alpha_1 = (h_1/h)^3$$

$$\alpha_2 = \frac{a_1 - r_2}{l_1}$$

l_1 is de overspanning in de richting van de beschouwde momenten.

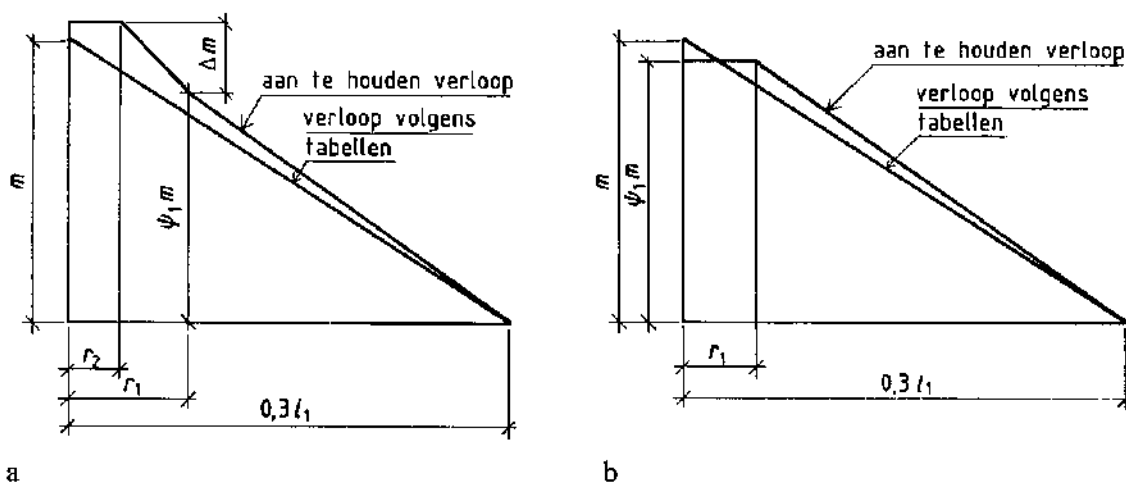
De reductiefactoren ψ_2 zijn analoog aan de formules voor ψ_1 , met dien verstande dat in plaats van r_1 de waarde r_2 moet worden ingevuld.

Bij vloeren met kolomplaten leidt de reductie met ψ_1 tot een onderschatten van de momenten ter plaatse van de inklemming in r_2 . Om dit te compenseren moet ter plaatse van r_2 het moment met $\Delta m = 2 \cdot \frac{1}{8} q_d l_1^2 (\psi_2 - \psi_1) = \frac{1}{4} q_d l_1^2 (\psi_2 - \psi_1)$ worden verhoogd.



8.10 Maten in verband met de inklemmingsstraal

In plaats van het verloop van het negatieve moment volgens de tabellen 8.15 t.m. 8.24 (met momentennulpunten op $0,3 l_1$) wordt ter plaatse van r_2 aangehouden $\psi_1 m + \Delta m$. Bij vloeren zonder kolomplaten vallen r_1 en r_2 samen en is $\Delta m = 0$ (fig. 8.11).



8.11 Verloop momenten bij toepassen van tabellen met (a) en zonder kolomplaat (b)

Doorbuiging

De dimensieloze doorbuigingscoëfficiënt C geeft de grootte aan van de maximale elastische doorbuiging in de plaat onder de voor de betrokken plaat geldende randvoorwaarde, zijnde:

- of vrije oplegging;
- of volledige inklemming;
- of vrij zwevende rand.

Voor een gedeeltelijke inklemming kan C worden bepaald door superpositie van de waarde van C in twee gelijkmatig verdeelde belaste platen, waarvan de één volledig is ingeklemd en de ander vrij is opgelegd. Aan de volledig ingeklemdde plaat wordt een waarde βC toegekend en aan de vrij opgelegde plaat een waarde $(1 - \beta) C$. De waarde van β moet recht evenredig worden gekozen aan de mate van inklemming die aan de randen wordt toegekend.

De invloed van een eventuele kolomkop of -plaat mag in rekening worden gebracht door de reductiefactor ψ_1 .

De doorbuigingscoëfficiënt C is voor alle tabellen gegeven als functie van de kleinste overspanning l_x . Zie ook 'Doorbuiging van platen' op 14.4.d.

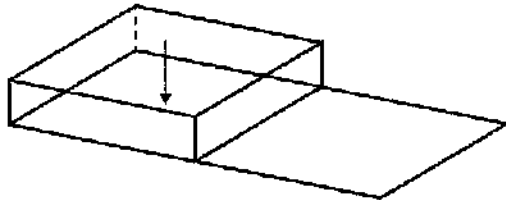
platen

• toelichting bij tabellen 8.3 t.m. 8.25

Schaakbordbelasting (uitsluitend voor Q-last)

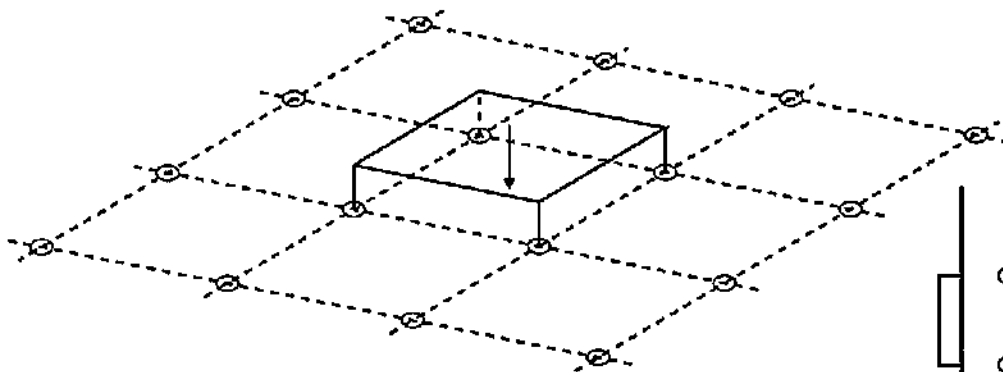
Voorbeelden van gebruik van de tabellen in geval van schakbordbelasting

- op lijnvormig ondersteunde platen;
- op puntvormig ondersteunde platen indien niet wordt voldaan aan voorwaarden 2 en 3 van 8.1.c.



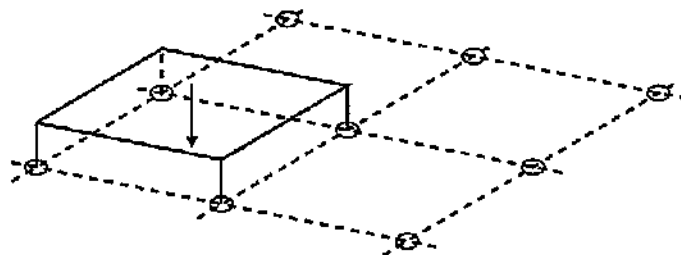
$$\begin{array}{c} \text{I} \end{array} \begin{array}{c} \downarrow 1 \end{array} = \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{I-9}$$

$$+ \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{I-1}$$



$$\begin{array}{c} \text{III} \end{array} \begin{array}{c} \downarrow 1 \end{array} = \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{III-2}$$

$$+ \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{III-1}$$



$$\begin{array}{c} \text{III} \end{array} \begin{array}{c} \downarrow 1 \end{array} = \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{III-5}$$

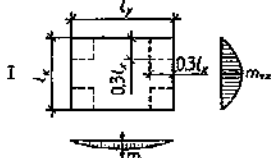
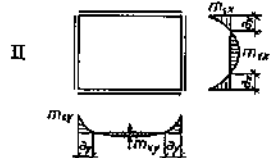
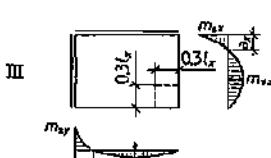
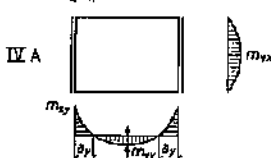
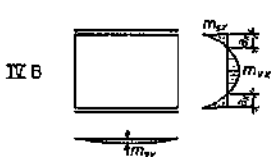
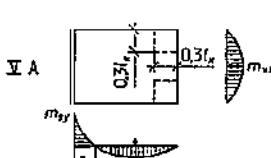
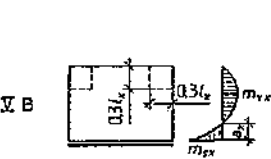
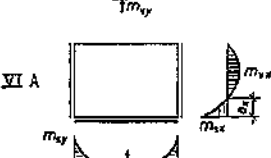
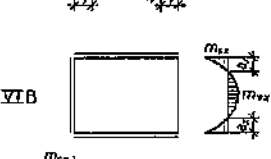
$$+ \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \approx \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} + \begin{array}{c} \downarrow \frac{1}{2} \end{array} \text{IV-5*}$$

$$\text{III-5*}$$

$$\text{III-1}$$

*) = 180° gedraaid

Maatgevende momenten per lengte in de middenstroken van lijnvormig star ondersteunde platen onder gelijkmatig verdeelde belasting

	l_y/l_x	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001$		41	54	67	79	87	97
II  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,18$ $a_y/l_y = 0,18$		18	26	32	36	39	41
		18	16	12	10	10	10
		51	63	72	78	81	82
		51	54	55	54	54	53
		0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
		0,18	0,16	0,15	0,13	0,11	0,10
III  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,20$ $a_y/l_y = 0,21$		25	36	45	53	58	62
		25	23	20	19	18	17
		68	84	97	106	113	117
		68	74	77	77	77	76
		0,20	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
		0,21	0,19	0,17	0,16	0,13	0,12
IV A  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_y/l_y = 0,19$		16	28	42	56	69	80
		29	32	32	30	27	24
		69	85	97	105	110	112
		0,19	0,19	0,17	0,17	0,16	0,15
IV B  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,19$		29	34	38	40	42	42
		16	14	13	13	13	13
		69	76	80	82	83	83
		0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21
V A  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_y/l_y = 0,21$		27	41	54	67	78	89
		38	37	34	30	27	25
		91	102	108	111	113	114
		0,21	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15
V B  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,21$		38	44	52	58	62	65
		27	21	19	18	17	17
		91	98	107	113	118	120
		0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24
VI A  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,19$ $a_y/l_y = 0,19$		18	29	39	47	54	59
		23	23	20	17	15	14
		54	72	88	100	108	114
		60	69	74	76	76	76
		0,19	0,21	0,23	0,23	0,23	0,24
		0,19	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14
VI B  $m_{vx} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{vy} = 0,001 q a l_x^2$ $m_{sx} = -0,001 q a l_x^2$ $m_{sy} = -0,001 q a l_x^2$ $a_x/l_x = 0,18$ $a_y/l_y = 0,19$		23	30	35	38	40	41
		18	15	14	13	13	13
		60	70	76	80	82	83
		54	55	55	54	53	53
		0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,21
		0,19	0,18	0,14	0,13	0,13	0,10

— = vrij opgelegd
 === = volledig ingeklemd

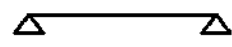
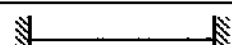
m_{vx} is het positieve moment per lengte in de middendoorsnede evenwijdig aan de lange zijde (l_y)
 m_{vy} is het positieve moment per lengte in de middendoorsnede evenwijdig aan de korte zijde (l_x)
 m_{sx} is het negatieve moment per lengte langs een lange zijde (l_y)
 m_{sy} is het negatieve moment per lengte langs een korte zijde (l_x)

Overzicht plaattypen

I-1	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9
		II-3	II-4	II-5				
III-1	III-2	III-3	III-4	III-5				
		IV-3	IV-4	IV-5				
				V-5				V-9

	vrij opgelegd, star ondersteund
	volledig ingeklemd, star ondersteund
	niet ondersteund
	volledig ingeklemd, niet ondersteund (symmetrieliijn)
	puntvormig ondersteund

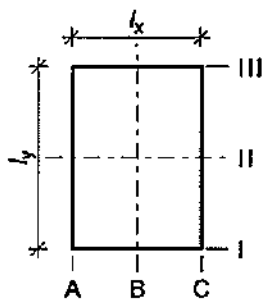
Schatten plaatdikte, niet voorgespannen

schema	$\frac{l}{d} (l \leq 7,0 \text{ m})$	$\frac{l}{d} (l > 7 \text{ m})$
	25	175/l
	32	225/l
	35	245/l

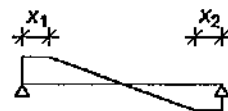
platen

• plaat I - 1

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	17	17	I	0	0	0	17	17	4,1
	B	+51	+23	+51	0	0	II	+51	+23	+51	0	0	
	C	0	0	0	17	17	III	0	0	0	17	17	
1,2	A	0	0	0	15	15	I	0	0	0	18	18	5,6
	B	+46	+33	+46	0	0	II	+55	+15	+55	0	0	
	C	0	0	0	15	15	III	0	0	0	18	18	
1,4	A	0	0	0	13	13	I	0	0	0	19	19	7,0
	B	+41	+43	+41	0	0	II	+58	+9	+58	0	0	
	C	0	0	0	13	13	III	0	0	0	19	19	
1,6	A	0	0	0	12	12	I	0	0	0	20	20	8,2
	B	+37	+51	+37	0	0	II	+59	+7	+59	0	0	
	C	0	0	0	12	12	III	0	0	0	20	20	
1,8	A	0	0	0	11	11	I	0	0	0	20	20	9,2
	B	+33	+59	+33	0	0	II	+60	+5	+60	0	0	
	C	0	0	0	11	11	III	0	0	0	20	20	
2,0	A	0	0	0	10	10	I	0	0	0	21	21	10,0
	B	+30	+65	+30	0	0	II	+61	+3	+61	0	0	
	C	0	0	0	10	10	III	0	0	0	21	21	

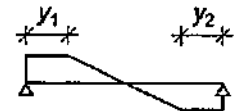


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,1	0,1
1,2	0,1	0,1
1,4	0,1	0,1
1,6	0,1	0,1
1,8	0,1	0,1
2,0	0,1	0,1



balk A en C

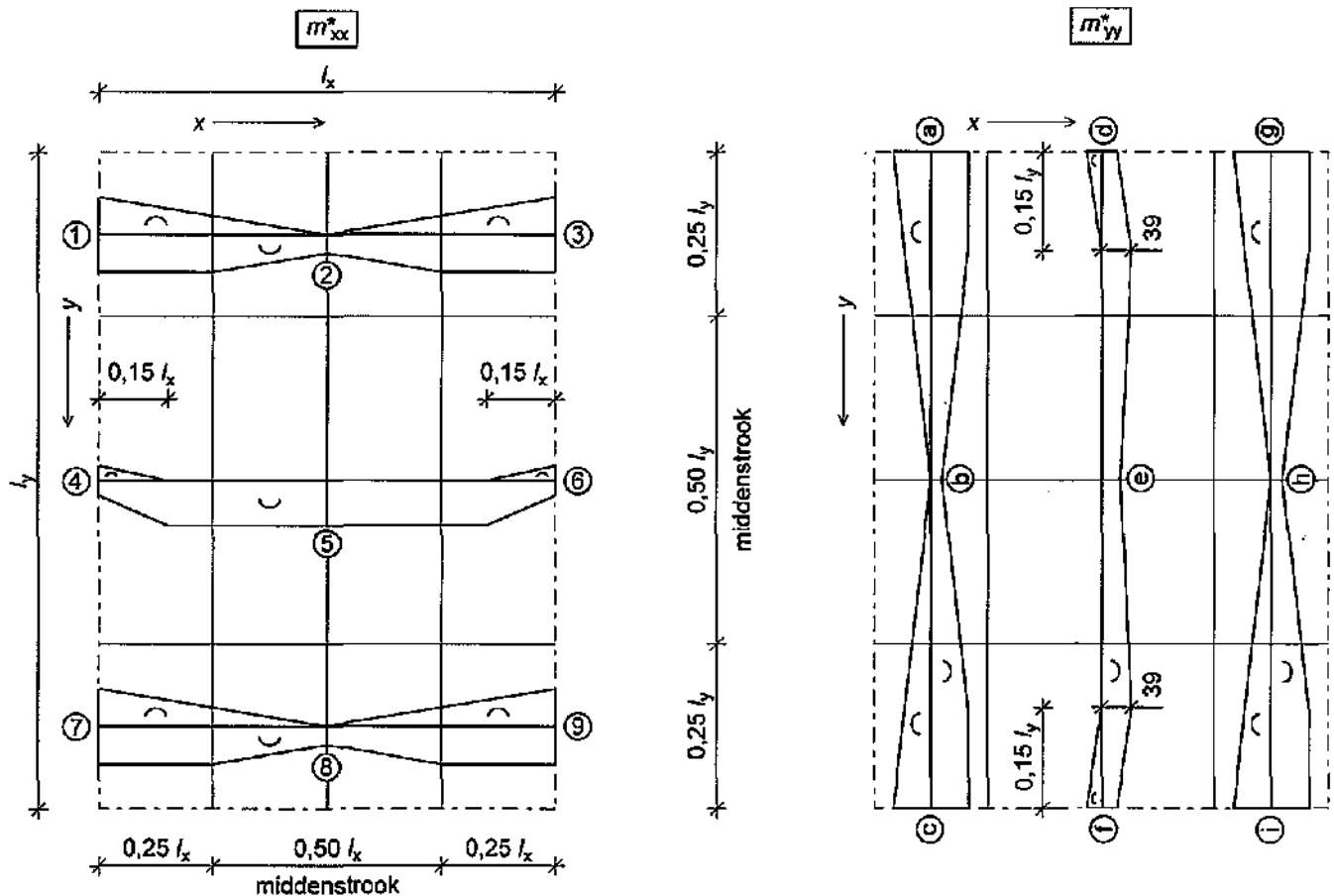
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,1	0,1
1,2	0,1	0,1
1,4	0,1	0,1
1,6	0,1	0,1
1,8	0,1	0,1
2,0	0,1	0,1

platen

• plaat I - 1

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten

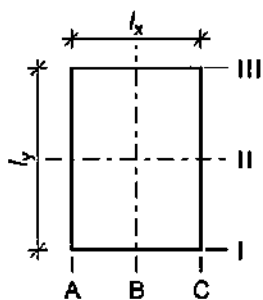
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 43	+ 14	± 43	± 15	+ 39	± 15	± 43	+ 14	± 43	± 43	+ 14	± 43	± 15	+ 39	± 15	± 43	+ 14	± 43
1,2	± 51	+ 20	± 51	± 16	+ 51	± 16	± 51	+ 20	± 51	± 51	+ 13	± 51	± 17	+ 31	± 17	± 51	+ 13	± 51
1,4	± 57	+ 26	± 57	± 17	+ 63	± 17	± 57	+ 26	± 57	± 55	+ 11	± 55	± 19	+ 27	± 19	± 55	+ 11	± 55
1,6	± 62	+ 31	± 62	± 17	+ 74	± 17	± 62	+ 31	± 62	± 57	+ 10	± 57	± 21	+ 23	± 21	± 57	+ 10	± 57
1,8	± 65	+ 36	± 65	± 16	+ 83	± 16	± 65	+ 36	± 65	± 59	+ 8	± 59	± 22	+ 19	± 22	± 59	+ 8	± 59
2,0	± 67	+ 40	± 67	± 15	+ 90	± 15	± 67	+ 40	± 67	± 59	+ 6	± 59	± 22	+ 16	± 22	± 59	+ 6	± 59

Voor $l_y/l_x = 1$ mag voor het momentenverloop in y-richting ook het momentenverloop in x-richting worden aangehouden.

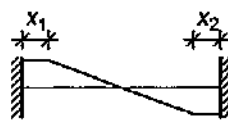
platen

• plaat I - 2

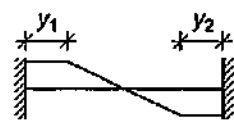
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	-27	-29	-27	13	13	I	-27	-29	-27	13	13	1,3
	B	+16	+10	+16	0	0	II	+16	+10	+16	0	0	
	C	-27	-29	-27	13	13	III	-27	-29	-27	13	13	
1,2	A	-23	-37	-23	11	11	I	-31	-21	-31	15	15	1,7
	B	+14	+14	+14	0	0	II	+18	+ 6	-18	0	0	
	C	-23	-37	-23	11	11	III	-31	-21	-31	15	15	
1,4	A	-20	-43	-20	9	9	I	-34	-15	-34	16	16	2,1
	B	+12	+18	+12	0	0	II	+19	+ 4	+19	0	0	
	C	-20	-43	-20	9	9	III	-34	-15	-34	16	16	
1,6	A	-17	-49	-17	8	8	I	-36	-11	-36	17	17	2,3
	B	+11	+20	+11	0	0	II	+21	+ 0	+21	0	0	
	C	-17	-49	-17	8	8	III	-36	-11	-36	17	17	
1,8	A	-16	-51	-16	8	8	I	-37	-9	-37	18	18	2,4
	B	+10	+22	+10	0	0	II	+21	+ 0	+21	0	0	
	C	-16	-51	-16	8	8	III	-37	- 9	-37	18	18	
2,0	A	-14	-55	-14	7	7	I	-38	- 7	-38	19	19	2,5
	B	+ 9	+24	+ 9	0	0	II	+21	+ 0	+21	0	0	
	C	-14	-55	-14	7	7	III	-38	- 7	-38	19	19	



geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,25	0,25
1,2	0,25	0,25
1,4	0,25	0,25
1,6	0,25	0,25
1,8	0,25	0,25
2,0	0,25	0,25



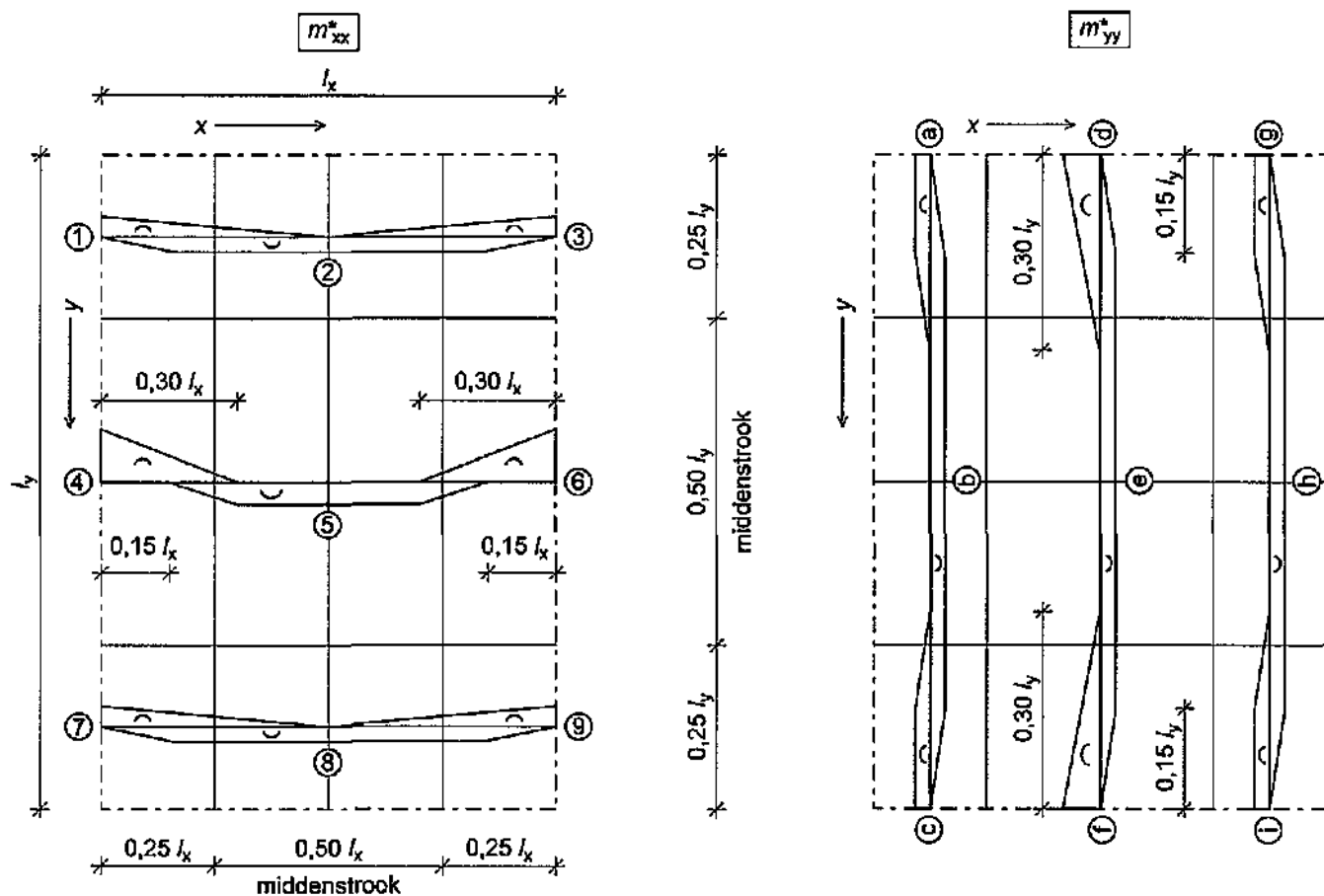
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,25	0,25
1,2	0,22	0,22
1,4	0,19	0,19
1,6	0,17	0,17
1,8	0,16	0,16
2,0	0,15	0,15

platen

• plaat I - 2

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten

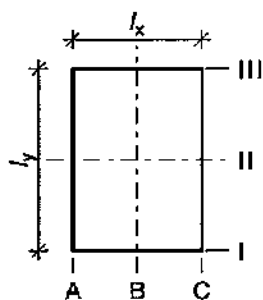
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	-14	+11	-14	-44	+17	-44	-14	+11	-14	-14	+11	-14	-44	+17	-44	-14	+11	-14
1,2	-19	+13	-19	-56	+24	-56	-19	+13	-19	-15	+12	-15	-47	+17	-47	-15	+12	-15
1,4	-23	+15	-23	-65	+29	-65	-23	+15	-23	-15	+12	-15	-47	+16	-47	-15	+12	-15
1,6	-27	+17	-27	-71	+32	-71	-27	+17	-27	-15	+13	-15	-47	+15	-47	-15	+13	-15
1,8	-31	+18	-31	-75	+35	-75	-31	+18	-31	-15	+13	-15	-47	+15	-47	-15	+13	-15
2,0	-34	+19	-34	-78	+37	-78	-34	+19	-34	-15	+13	-15	-46	+15	-46	-15	+13	-15

Voor $l_y/l_x = 1$ mag voor het momentenverloop in y -richting ook het momentenverloop in x -richting worden aangehouden.

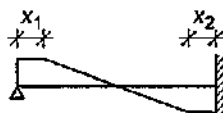
platen

• plaat I - 3

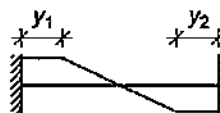
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
balk I		plaat	balk III	balk I	balk III	balk A		plaat	balk C	balk A	balk C		
1,0	A	0	0	0	13	13	I	-18	-37	-28	8	13	1,6
	B	+30	+10	+30	0	0	II	+11	+14	+17	0	0	
	C	-47	-31	-47	19	19	III	-18	-37	-28	8	13	
1,2	A	0	0	0	12	12	I	-21	-29	-33	9	15	2,4
	B	+27	+16	+27	0	0	II	+13	+ 9	+20	0	0	
	C	-42	-41	-42	17	17	III	-21	-29	-33	9	15	
1,4	A	0	0	0	12	12	I	-23	-23	-37	11	17	3,2
	B	+24	+21	+24	0	0	II	+14	+ 6	+22	0	0	
	C	-37	-51	-37	15	15	III	-23	-23	-37	11	17	
1,6	A	0	0	0	11	11	I	-25	-18	-40	12	19	3,8
	B	+22	+27	+22	0	0	II	+15	+ 4	+23	0	0	
	C	-33	-59	-33	13	13	III	-25	-18	-40	12	19	
1,8	A	0	0	0	10	10	I	-27	-14	-42	12	20	4,3
	B	+19	+31	+19	0	0	II	+16	+ 2	+24	0	0	
	C	-29	-67	-29	12	12	III	-27	-14	-42	12	20	
2,0	A	0	0	0	10	10	I	-28	-11	-44	13	21	4,6
	B	+17	+35	+17	0	0	II	+15	+ 2	+25	0	0	
	C	-27	-71	-27	11	11	III	-28	-11	-44	13	21	



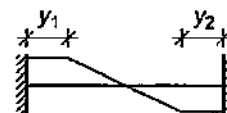
geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III



balk A



balk C

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,10	0,23
1,2	0,10	0,23
1,4	0,10	0,23
1,6	0,10	0,24
1,8	0,10	0,25
2,0	0,10	0,26

l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,25	0,25
1,2	0,24	0,24
1,4	0,22	0,22
1,6	0,20	0,20
1,8	0,18	0,18
2,0	0,16	0,16

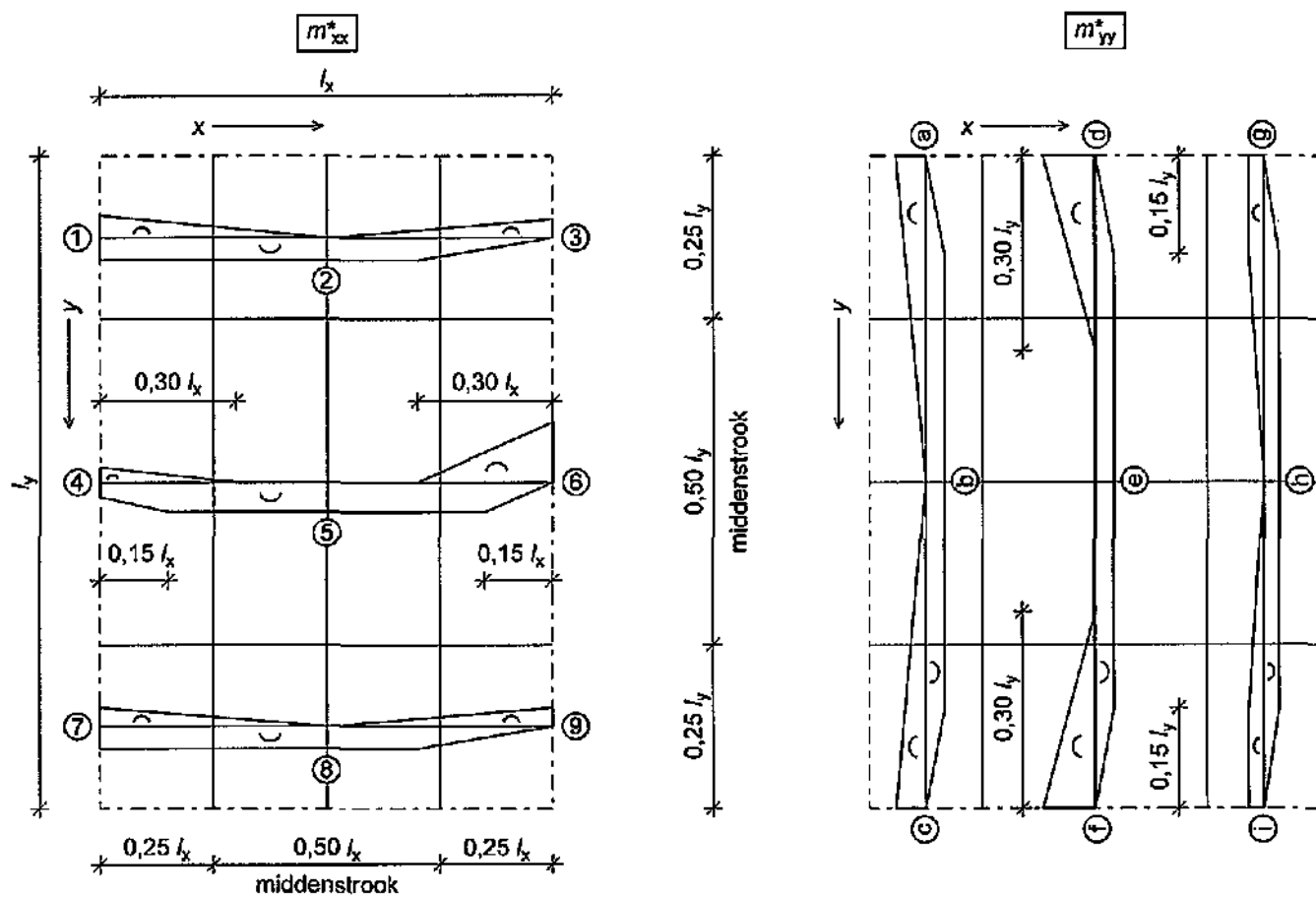
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,21	0,21
1,2	0,20	0,20
1,4	0,19	0,19
1,6	0,18	0,18
1,8	0,17	0,17
2,0	0,16	0,16

platen

• plaat I - 3

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



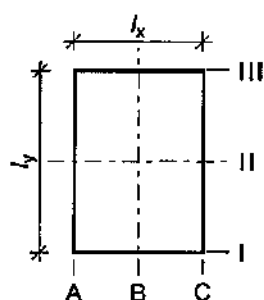
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 17	+ 17	- 15	± 10	+ 21	- 47	± 17	+ 17	- 15	- 30	+ 20	- 30	- 53	+ 22	- 53	- 15	+ 12	- 15
1,2	± 22	+ 22	- 20	± 12	+ 30	- 63	± 22	+ 22	- 20	- 34	+ 24	- 34	- 61	+ 23	- 61	- 16	+ 14	- 16
1,4	± 26	+ 26	- 26	± 13	+ 38	- 77	± 26	+ 26	- 26	- 36	+ 26	- 36	- 65	+ 23	- 65	- 17	+ 15	- 17
1,6	± 29	+ 29	- 31	± 13	+ 45	- 89	± 29	+ 29	- 31	- 38	+ 27	- 38	- 66	+ 22	- 66	- 17	+ 16	- 17
1,8	± 31	+ 31	- 36	± 12	+ 51	- 98	± 31	+ 31	- 36	- 38	+ 29	- 38	- 66	+ 22	- 66	- 18	+ 17	- 18
2,0	± 33	+ 33	- 41	± 11	+ 56	-104	± 33	+ 33	- 41	- 38	+ 30	- 38	- 66	+ 22	- 66	- 17	+ 17	- 17

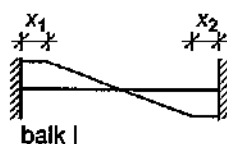
platen

• plaat I - 4

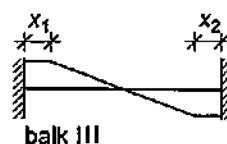
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A	balk C	
1,0	A	-18	-37	-28	8	13	I	0	0	0	13	13	1,6
	B	+11	+14	+17	0	0	II	+30	+10	+30	0	0	
	C	-18	-37	-28	8	13	III	-48	-29	-48	19	19	
1,2	A	-15	-45	-23	7	11	I	0	0	0	14	14	2,0
	B	+10	+18	+14	0	0	II	+32	+ 5	+32	0	0	
	C	-15	-45	-23	7	11	III	-52	-21	-52	21	21	
1,4	A	-13	-50	-20	6	10	I	0	0	0	15	15	2,3
	B	+ 8	+22	+12	0	0	II	+33	+ 3	+33	0	0	
	C	-13	-50	-20	6	10	III	-55	-15	-55	22	22	
1,6	A	-11	-55	-17	5	9	I	0	0	0	15	15	2,4
	B	+ 7	+24	+11	0	0	II	+34	+ 1	+34	0	0	
	C	-11	-55	-17	5	9	III	-57	-11	-57	23	23	
1,8	A	-10	-58	-15	4	8	I	0	0	0	15	15	2,5
	B	+ 6	+26	+10	0	0	II	+35	+ 1	+35	0	0	
	C	-10	-58	-15	4	8	III	-59	- 7	-59	24	24	
2,0	A	- 9	-60	-14	4	7	I	0	0	0	16	16	2,6
	B	+ 6	+28	+ 8	0	0	II	+35	0	+35	0	0	
	C	- 9	-60	-14	4	7	III	-60	- 5	-60	25	25	



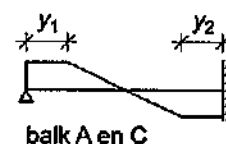
geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,25	0,25
1,2	0,25	0,25
1,4	0,25	0,25
1,6	0,25	0,25
1,8	0,25	0,25
2,0	0,25	0,25



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,21	0,21
1,2	0,22	0,22
1,4	0,23	0,23
1,6	0,24	0,24
1,8	0,25	0,25
2,0	0,26	0,26



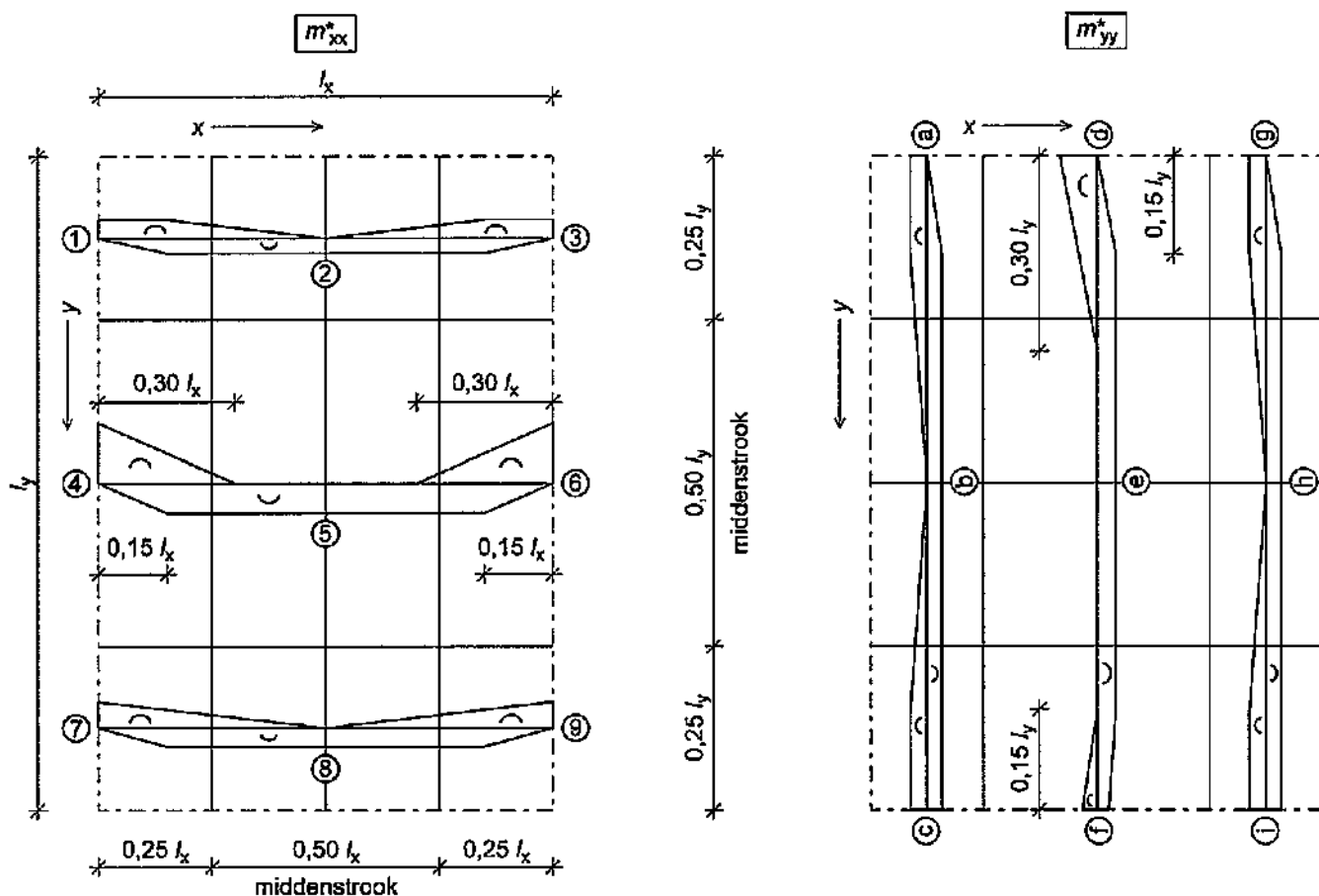
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,10	0,23
1,2	0,10	0,23
1,4	0,10	0,22
1,6	0,10	0,20
1,8	0,10	0,18
2,0	0,10	0,16

platen

• plaat I - 4

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



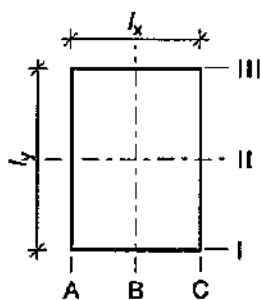
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	-15	+12	-15	-53	+22	-53	-30	+20	-30	-15	+17	± 17	-47	+21	± 10	-15	+17	± 17
1,2	-19	+14	-19	-63	+28	-63	-35	+22	-35	-15	+18	± 18	-48	+21	± 11	-15	+18	± 18
1,4	-23	+15	-23	-70	+32	-70	-39	+24	-39	-15	+18	± 18	-48	+20	± 11	-15	+18	± 18
1,6	-27	+17	-27	-75	+35	-75	-43	+25	-43	-15	+18	± 18	-47	+20	± 11	-15	+18	± 18
1,8	-31	+18	-31	-76	+37	-76	-46	+25	-46	-15	+17	± 17	-47	+20	± 11	-15	+17	± 17
2,0	-34	+19	-34	-80	+39	-80	-48	+25	-48	-15	+17	± 17	-46	+20	± 11	-15	+17	± 17

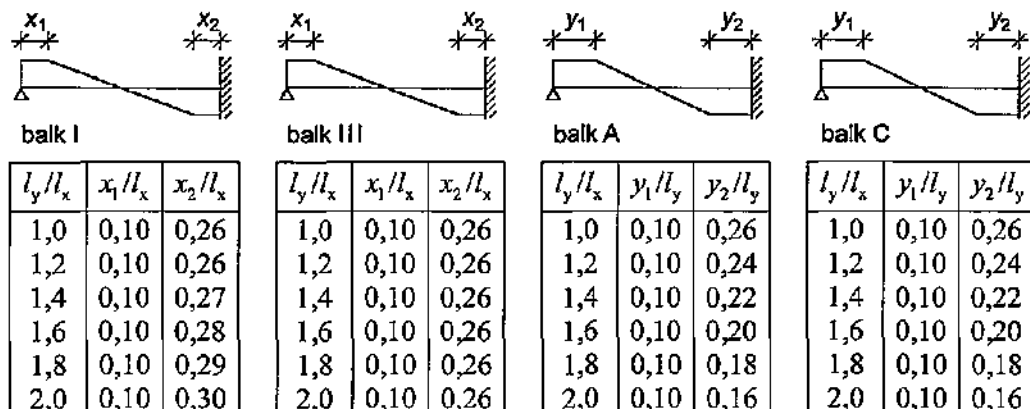
platen

• plaat I - 5

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	10	15	I	0	0	0	10	15	2,1
	B	+23	+15	+32	0	0	II	+23	+15	+32	0	0	
	C	-33	-42	-50	13	20	III	-33	-42	-50	13	20	
1,2	A	0	0	0	9	13	I	0	0	0	11	16	3,0
	B	+20	+22	+28	0	0	II	+25	+ 9	+36	0	0	
	C	-29	-53	-43	11	17	III	-38	-31	-56	14	22	
1,4	A	0	0	0	8	12	I	0	0	0	11	17	3,6
	B	+18	+28	+25	0	0	II	+26	+ 6	+38	0	0	
	C	-26	-62	-37	10	15	III	-40	-24	-61	15	25	
1,6	A	0	0	0	7	11	I	0	0	0	12	17	4,2
	B	+16	+33	+22	0	0	II	+27	+ 3	+40	0	0	
	C	-22	-70	-33	8	13	III	-42	-18	-65	16	27	
1,8	A	0	0	0	6	10	I	0	0	0	12	18	4,5
	B	+14	+37	+19	0	0	II	+27	+ 2	+41	0	0	
	C	-20	-76	-29	8	12	III	-44	-14	-67	17	28	
2,0	A	0	0	0	5	10	I	0	0	0	12	18	4,9
	B	+13	+40	+18	0	0	II	+27	+ 1	+42	0	0	
	C	-17	-81	-27	7	11	III	-45	-11	-69	18	29	



geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken

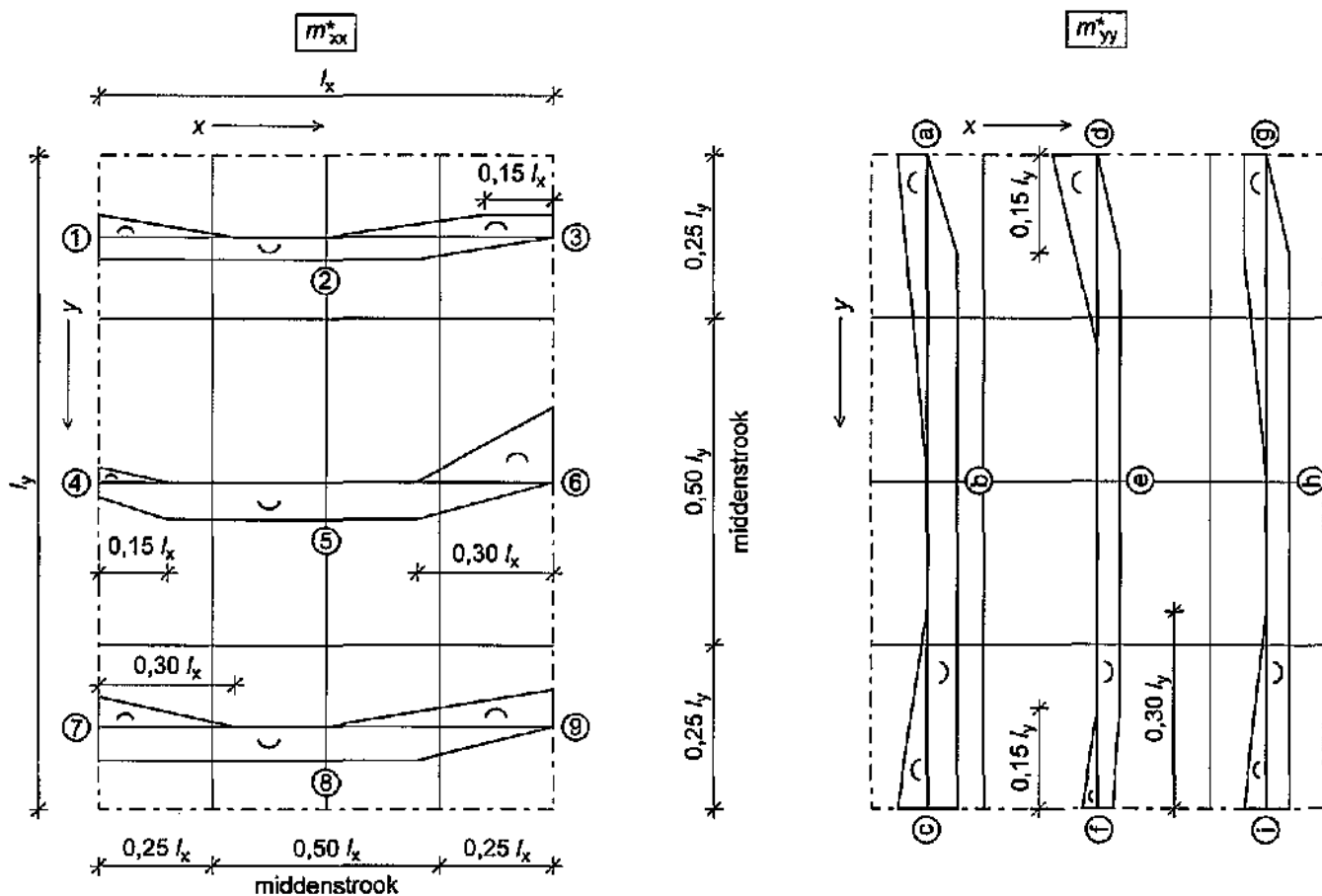


platen

• plaat I - 5

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



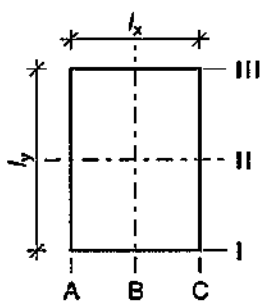
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 20	+ 20	- 16	± 12	+ 27	- 60	± 31	+ 31	- 33	- 33	+ 31	± 31	- 60	+ 27	± 12	- 16	+ 20	± 20
1,2	± 24	+ 24	- 21	± 13	+ 37	- 76	± 36	+ 36	- 41	- 36	+ 35	± 35	- 65	+ 27	± 14	- 17	+ 22	± 22
1,4	± 28	+ 28	- 26	± 13	+ 44	- 88	± 40	+ 40	- 48	- 38	+ 38	± 38	- 67	+ 28	± 15	- 18	+ 23	± 23
1,6	± 30	+ 30	- 32	± 12	+ 50	- 98	± 43	+ 43	- 54	- 38	+ 39	± 39	- 67	+ 27	± 16	- 18	+ 23	± 23
1,8	± 32	+ 32	- 36	± 11	+ 55	- 104	± 45	+ 45	- 59	- 38	+ 39	± 39	- 67	+ 28	± 16	- 18	+ 23	± 23
2,0	± 33	+ 33	- 41	± 10	+ 59	- 110	± 45	+ 45	- 63	- 38	+ 38	± 38	- 66	+ 28	± 16	- 17	+ 23	± 23

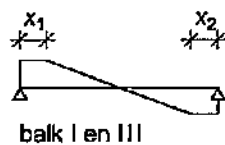
platen

• plaat I - 6

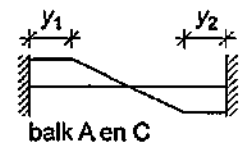
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	20	20	I	-18	-47	-18	8	8	1,9
	B	+58	+ 9	+58	0	0	II	+12	+18	+12	0	0	
	C	0	0	0	20	20	III	-18	-47	-18	8	8	
1,2	A	0	0	0	19	19	I	-22	-39	-22	10	10	3,2
	B	+55	+15	+55	0	0	II	+14	+14	+14	0	0	
	C	0	0	0	19	19	III	-22	-39	-22	10	10	
1,4	A	0	0	0	18	18	I	-25	-33	-25	11	11	4,6
	B	+51	+23	+51	0	0	II	+16	+10	+16	0	0	
	C	0	0	0	18	18	III	-25	-33	-25	11	11	
1,6	A	0	0	0	17	17	I	-28	-27	-28	12	12	6,0
	B	+47	+31	+47	0	0	II	+17	+ 8	+17	0	0	
	C	0	0	0	17	17	III	-28	-27	-28	12	12	
1,8	A	0	0	0	16	16	I	-30	-23	-30	14	14	7,2
	B	+43	+39	+43	0	0	II	+19	+ 4	+19	0	0	
	C	0	0	0	16	16	III	-30	-23	-30	14	14	
2,0	A	0	0	0	16	16	I	-32	-19	-32	15	15	8,4
	B	+40	+45	+40	0	0	II	+19	+ 4	+19	0	0	
	C	0	0	0	16	16	III	-32	-19	-32	15	15	



geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,14	0,14
1,2	0,13	0,13
1,4	0,12	0,12
1,6	0,12	0,12
1,8	0,12	0,12
2,0	0,12	0,12



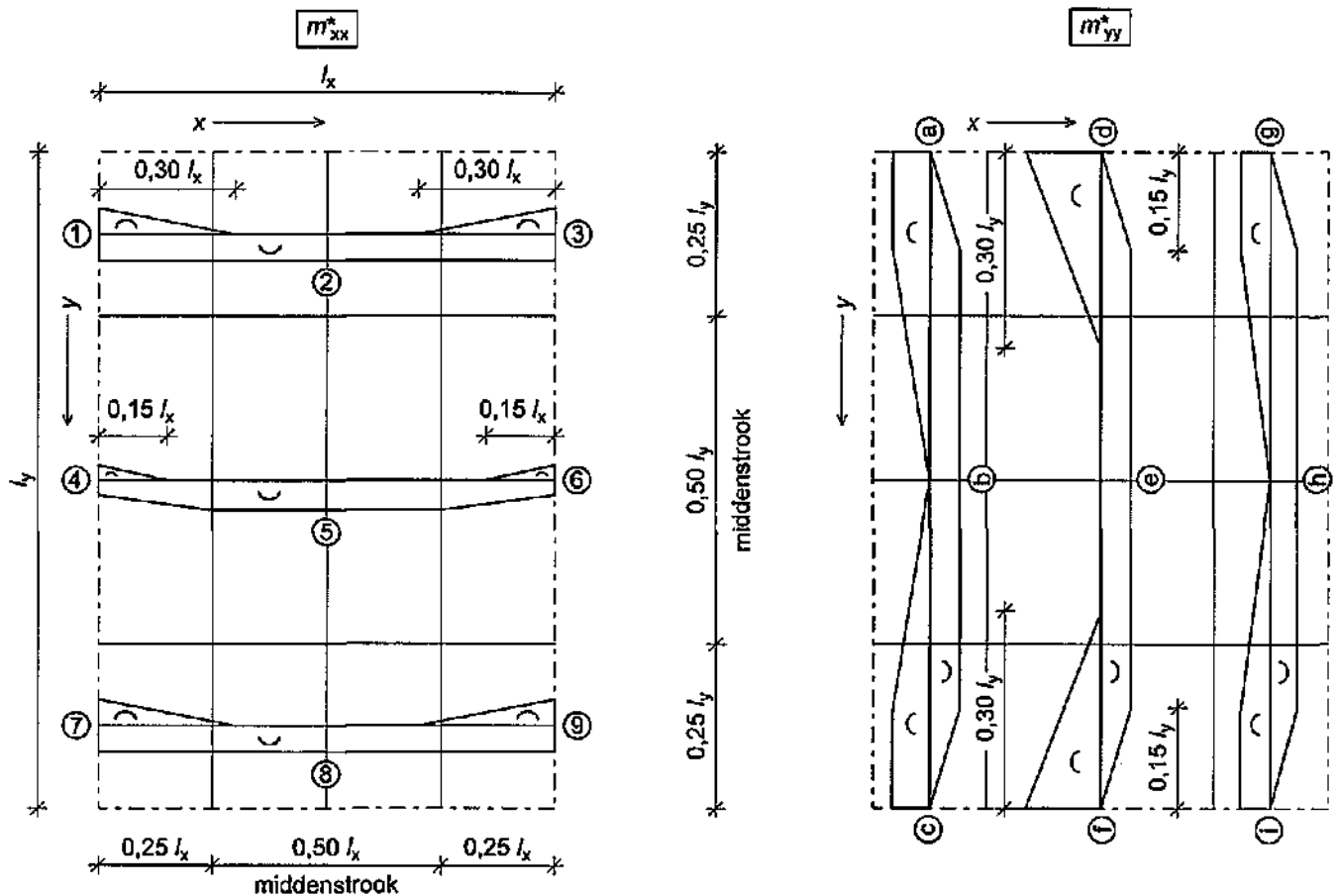
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,25	0,25
1,2	0,23	0,23
1,4	0,22	0,22
1,6	0,21	0,21
1,8	0,20	0,20
2,0	0,19	0,19

platen

• plaat I - 6

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



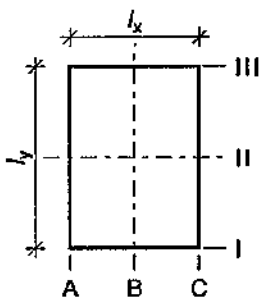
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 18	+ 18	± 18	± 11	+ 21	± 11	± 18	+ 18	± 18	- 31	+ 21	- 31	- 64	+ 27	- 64	- 31	+ 21	- 31
1,2	± 25	+ 25	± 25	± 14	+ 31	± 14	± 25	+ 25	± 25	- 37	+ 28	- 37	- 78	+ 31	- 78	- 37	+ 28	- 37
1,4	± 31	+ 31	± 31	± 17	+ 42	± 17	± 31	+ 31	± 31	- 42	+ 34	- 42	- 89	+ 32	- 89	- 42	+ 34	- 42
1,6	± 36	+ 36	± 36	± 18	+ 53	± 18	± 36	+ 36	± 36	- 45	+ 38	- 45	- 96	+ 32	- 96	- 45	+ 38	- 45
1,8	± 40	+ 40	± 40	± 19	+ 64	± 19	± 40	+ 40	± 40	- 48	+ 40	- 48	- 101	+ 32	- 101	- 48	+ 40	- 48
2,0	± 44	+ 44	± 44	± 18	+ 73	± 18	± 44	+ 44	± 44	- 49	+ 43	- 49	- 103	+ 32	- 103	- 49	+ 43	- 49

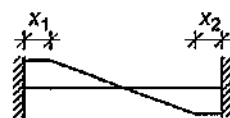
platen

• plaat I - 7

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	-18	-47	-18	8	8	I	0	0	0	20	20	1,9
	B	+12	+18	+12	0	0	II	+58	+ 9	+58	0	0	
	C	-18	-47	-18	8	8	III	0	0	0	20	20	
1,2	A	-15	-53	-15	7	7	I	0	0	0	21	21	2,2
	B	+10	+22	+10	0	0	II	+61	+ 3	+61	0	0	
	C	-15	-53	-15	7	7	III	0	0	0	21	21	
1,4	A	-13	-57	-13	6	6	I	0	0	0	21	21	2,4
	B	+ 9	+24	+ 9	0	0	II	+61	+ 3	+61	0	0	
	C	-13	-57	-13	6	6	III	0	0	0	21	21	
1,6	A	-11	-61	-11	5	5	I	0	0	0	21	21	2,5
	B	+ 7	+28	+ 7	0	0	II	+62	+ 1	+62	0	0	
	C	-11	-61	-11	5	5	III	0	0	0	21	21	
1,8	A	-10	-63	-10	4	4	I	0	0	0	22	22	2,6
	B	+ 7	+28	+ 7	0	0	II	+62	+ 1	+62	0	0	
	C	-10	-63	-10	4	4	III	0	0	0	22	22	
2,0	A	- 9	-65	- 9	4	4	I	0	0	0	22	22	2,6
	B	+ 6	+30	+ 6	0	0	II	+62	+ 1	+62	0	0	
	C	- 9	-65	- 9	4	4	III	0	0	0	22	22	

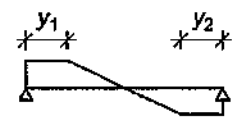


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,25	0,25
1,2	0,25	0,25
1,4	0,25	0,25
1,6	0,25	0,25
1,8	0,25	0,25
2,0	0,25	0,25



balk A en C

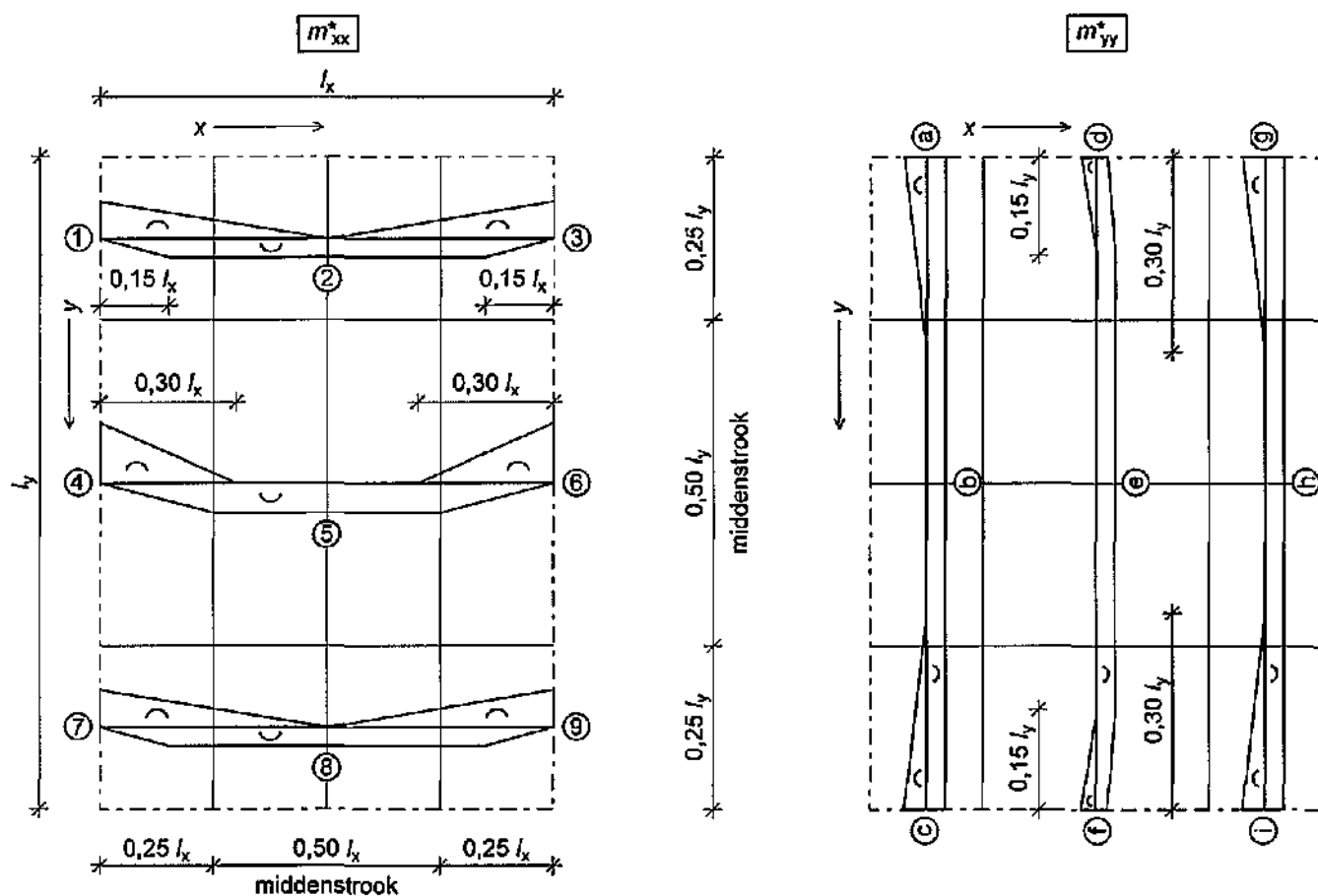
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,14	0,14
1,2	0,14	0,14
1,4	0,14	0,14
1,6	0,13	0,13
1,8	0,13	0,13
2,0	0,12	0,12

platen

• plaat I - 7

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



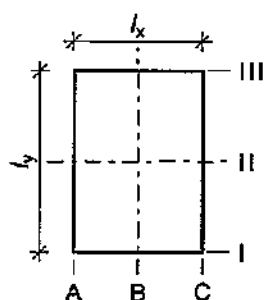
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	-31	+21	-31	-64	+27	-64	-31	+21	-31	± 18	+18	± 18	± 11	+21	± 11	± 18	+18	± 18
1,2	-36	+23	-36	-71	+32	-71	-36	+23	-36	± 18	+18	± 18	± 11	+21	± 11	± 18	+18	± 18
1,4	-40	+24	-40	-76	+35	-76	-40	+24	-40	± 18	+18	± 18	± 11	+20	± 11	± 18	+18	± 18
1,6	-43	+25	-43	-79	+37	-79	-43	+25	-43	± 18	+18	± 18	± 11	+20	± 11	± 18	+18	± 18
1,8	-46	+25	-46	-80	+39	-80	-46	+25	-46	± 17	+17	± 17	± 11	+20	± 11	± 17	+17	± 17
2,0	-48	+25	-48	-82	+40	-82	-48	+25	-48	± 17	+17	± 17	± 12	+20	± 12	± 17	+17	± 17

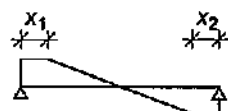
platen

• plaat I - 8

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	15	22	I	0	0	0	10	10	2,8
	B	+46	+14	+65	0	0	II	+24	+22	+24	0	0	
	C	0	0	0	15	22	III	-34	-57	-34	13	13	
1,2	A	0	0	0	14	20	I	0	0	0	12	12	4,3
	B	+43	+23	+59	0	0	II	+27	+16	+27	0	0	
	C	0	0	0	14	20	III	-40	-45	-40	15	15	
1,4	A	0	0	0	13	19	I	0	0	0	13	13	5,8
	B	+39	+32	+54	0	0	II	+30	+11	+30	0	0	
	C	0	0	0	13	19	III	-44	-37	-44	17	17	
1,6	A	0	0	0	12	18	I	0	0	0	14	14	7,1
	B	+36	+41	+48	0	0	II	+31	+ 8	+31	0	0	
	C	0	0	0	12	18	III	-48	-29	-48	18	18	
1,8	A	0	0	0	11	17	I	0	0	0	14	14	8,2
	B	+33	+48	+44	0	0	II	+33	+ 5	+33	0	0	
	C	0	0	0	11	17	III	-51	-23	-51	20	20	
2,0	A	0	0	0	10	16	I	0	0	0	15	15	9,2
	B	+30	+55	+40	0	0	II	+33	+ 4	+33	0	0	
	C	0	0	0	10	16	III	-53	-19	-53	21	21	

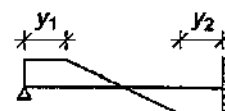


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,12	0,12
1,2	0,12	0,12
1,4	0,12	0,12
1,6	0,12	0,12
1,8	0,12	0,12
2,0	0,12	0,12



balk A en C

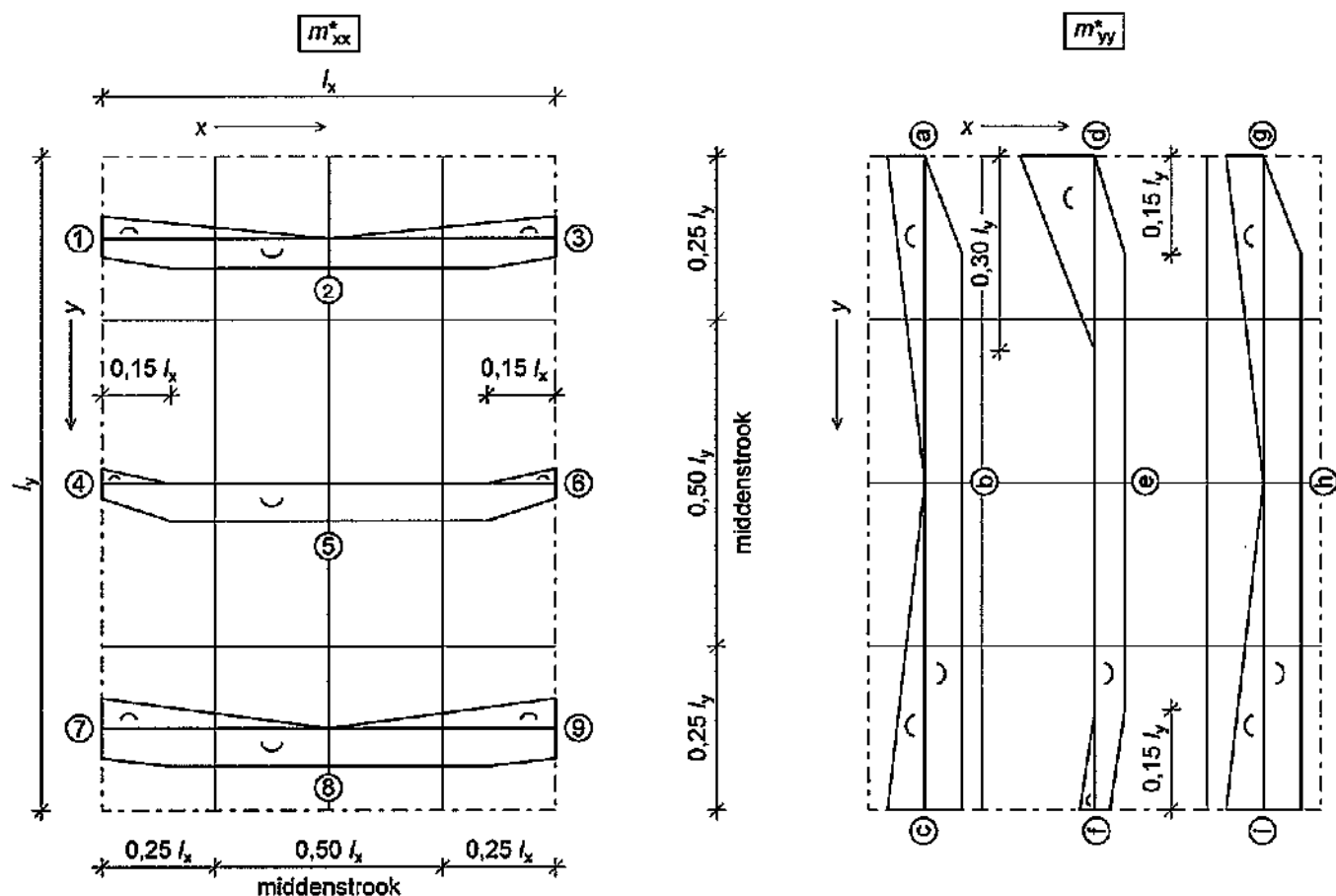
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,10	0,32
1,2	0,10	0,30
1,4	0,10	0,28
1,6	0,10	0,26
1,8	0,10	0,24
2,0	0,10	0,22

platen

• plaat I - 8

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



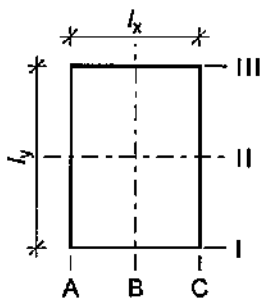
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 22	$+ 22$	± 22	± 13	$+ 28$	± 13	± 35	$+ 35$	± 35	$- 36$	$+ 36$	± 36	$- 76$	$+ 35$	± 12	$- 36$	$+ 36$	± 36
1,2	± 27	$+ 29$	± 27	± 16	$+ 40$	± 16	± 38	$+ 44$	± 38	$- 42$	$+ 45$	± 45	$- 88$	$+ 38$	± 15	$- 42$	$+ 45$	± 45
1,4	± 32	$+ 34$	± 32	± 18	$+ 52$	± 18	± 43	$+ 52$	± 43	$- 45$	$+ 51$	± 51	$- 97$	$+ 39$	± 18	$- 45$	$+ 51$	± 51
1,6	± 36	$+ 39$	± 36	± 19	$+ 63$	± 19	± 47	$+ 58$	± 47	$- 48$	$+ 55$	± 55	$- 101$	$+ 39$	± 20	$- 48$	$+ 55$	± 55
1,8	± 39	$+ 43$	± 39	± 18	$+ 73$	± 18	± 48	$+ 62$	± 48	$- 49$	$+ 57$	± 57	$- 104$	$+ 39$	± 21	$- 49$	$+ 57$	± 57
2,0	± 42	$+ 46$	± 42	± 18	$+ 82$	± 18	± 49	$+ 65$	± 49	$- 50$	$+ 58$	± 58	$- 105$	$+ 39$	± 22	$- 50$	$+ 58$	± 58

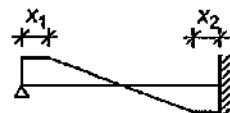
platen

• plaat I - 9

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	10	10	I	0	0	0	15	22	2,8
	B	+24	+22	+24	0	0	II	+46	+14	+65	0	0	
	C	-34	-57	-34	13	13	III	0	0	0	15	22	
1,2	A	0	0	0	9	9	I	0	0	0	16	24	3,6
	B	+21	+29	+21	0	0	II	+48	+ 8	+69	0	0	
	C	-29	-67	-29	11	11	III	0	0	0	16	24	
1,4	A	0	0	0	8	8	I	0	0	0	17	25	4,1
	B	+18	+34	+18	0	0	II	+48	+ 5	+72	0	0	
	C	-25	-75	-25	10	10	III	0	0	0	17	25	
1,6	A	0	0	0	7	7	I	0	0	0	17	25	4,6
	B	+16	+38	+16	0	0	II	+49	+ 3	+73	0	0	
	C	-22	-81	-22	9	9	III	0	0	0	17	25	
1,8	A	0	0	0	6	6	I	0	0	0	17	26	4,8
	B	+14	+42	+14	0	0	II	+49	+ 1	+75	0	0	
	C	-20	-85	-20	8	8	III	0	0	0	17	26	
2,0	A	0	0	0	6	6	I	0	0	0	17	26	5,1
	B	+13	+45	+13	0	0	II	+49	+ 1	+75	0	0	
	C	-18	-89	-18	7	7	III	0	0	0	17	26	

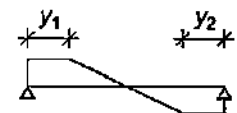


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,10	0,32
1,2	0,10	0,32
1,4	0,10	0,32
1,6	0,10	0,32
1,8	0,10	0,32
2,0	0,10	0,32



balk A en C

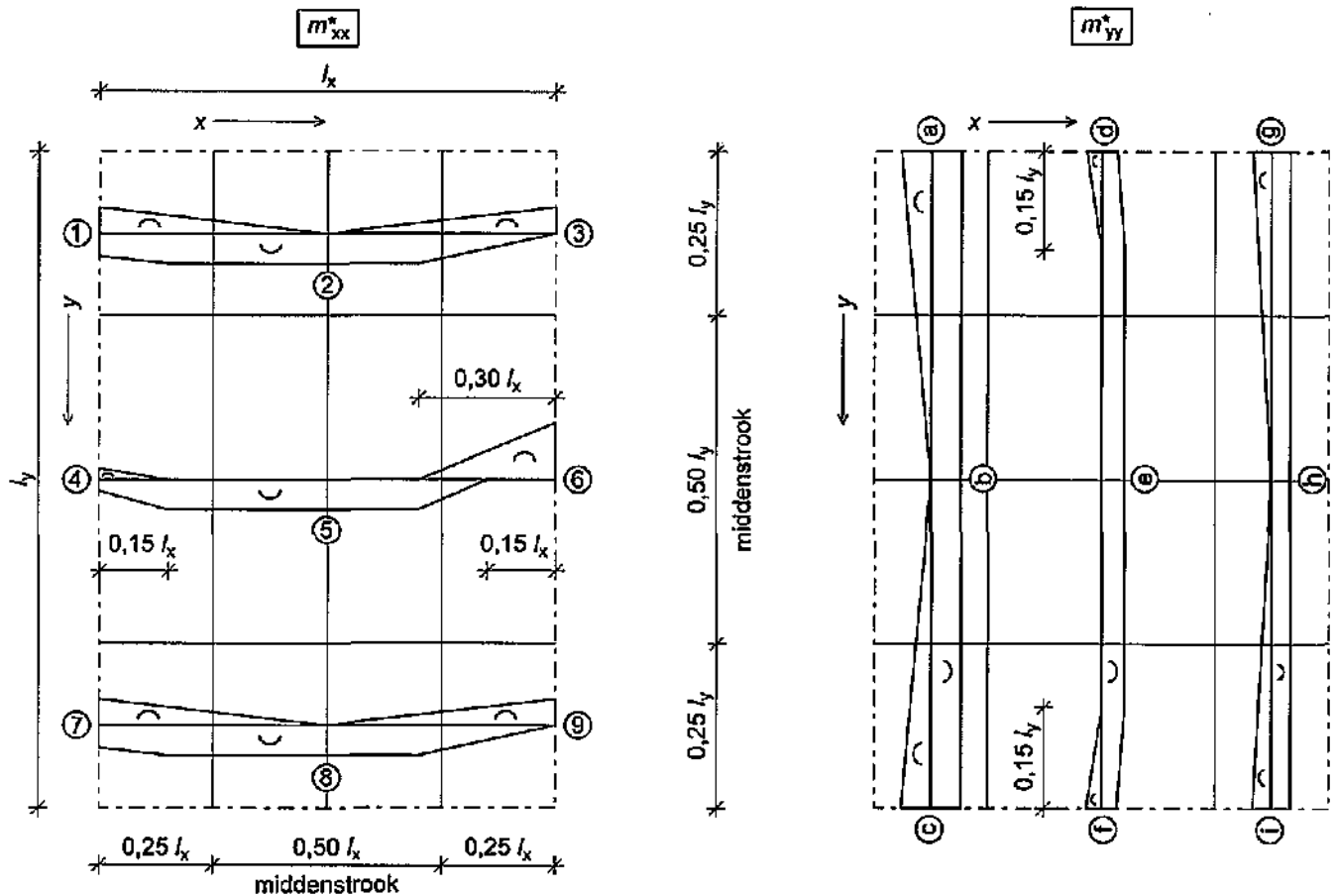
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,12	0,12
1,2	0,12	0,12
1,4	0,12	0,12
1,6	0,12	0,12
1,8	0,12	0,12
2,0	0,12	0,12

platen

• plaat I - 9

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



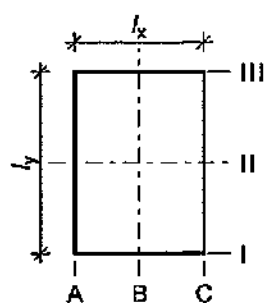
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 36	$+ 36$	$- 36$	± 12	$+ 35$	$- 76$	± 36	$+ 36$	$- 36$	± 35	$+ 35$	± 35	± 13	$+ 28$	± 13	± 22	$+ 22$	± 22
1,2	± 35	$+ 40$	$- 43$	± 12	$+ 43$	$- 90$	± 35	$+ 40$	$- 43$	± 35	$+ 35$	± 35	± 15	$+ 28$	± 15	± 22	$+ 22$	± 22
1,4	± 35	$+ 42$	$- 50$	± 11	$+ 49$	$- 99$	± 35	$+ 42$	$- 50$	± 35	$+ 35$	± 35	± 16	$+ 28$	± 16	± 22	$+ 22$	± 22
1,6	± 34	$+ 44$	$- 55$	± 10	$+ 55$	$- 106$	± 34	$+ 44$	$- 55$	± 35	$+ 35$	± 35	± 16	$+ 28$	± 16	± 22	$+ 22$	± 22
1,8	± 32	$+ 45$	$- 59$	± 9	$+ 59$	$- 111$	± 32	$+ 45$	$- 59$	± 35	$+ 35$	± 35	± 16	$+ 28$	± 16	± 22	$+ 22$	± 22
2,0	± 31	$+ 46$	$- 63$	± 8	$+ 62$	$- 115$	± 31	$+ 46$	$- 63$	± 35	$+ 35$	± 35	± 17	$+ 28$	± 17	± 22	$+ 22$	± 22

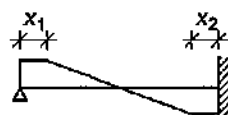
platen

• plaat II - 3

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	16	16	I	0	-55	-28	0	13	2,6
	B	+30	+ 4	+30	0	0	II	0	+25	+17	0	0	
	C	-49	- 30	-49	19	19	III	0	-55	-28	0	13	
1,2	A	0	0	0	15	15	I	0	-50	-33	0	15	5,2
	B	+30	+ 6	+30	0	0	II	0	+22	+20	0	0	
	C	-44	- 44	-44	17	17	III	0	-50	-33	0	15	
1,4	A	0	0	0	14	14	I	0	-45	-38	0	18	9,1
	B	+28	+ 8	+28	0	0	II	0	+19	+23	0	0	
	C	-40	- 60	-40	16	16	III	0	-45	-38	0	18	
1,6	A	0	0	0	13	13	I	0	-40	-43	0	20	14,0
	B	+26	+ 10	+26	0	0	II	0	+16	+26	0	0	
	C	-35	- 78	-35	14	14	III	0	-40	-43	0	20	
1,8	A	0	0	0	11	11	I	0	-35	-48	0	22	20,0
	B	+24	+ 12	+24	0	0	II	0	+13	+29	0	0	
	C	-31	- 95	-31	13	13	III	0	-35	-48	0	22	
2,0	A	0	0	0	10	10	I	0	-31	-52	0	24	26,8
	B	+22	+ 12	+22	0	0	II	0	+11	+31	0	0	
	C	-28	-113	-28	12	12	III	0	-31	-52	0	24	

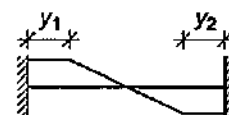


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



balk I en III

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0	0,22
1,2	0	0,24
1,4	0	0,28
1,6	0	0,32
1,8	0	0,36
2,0	0	0,40



balk C

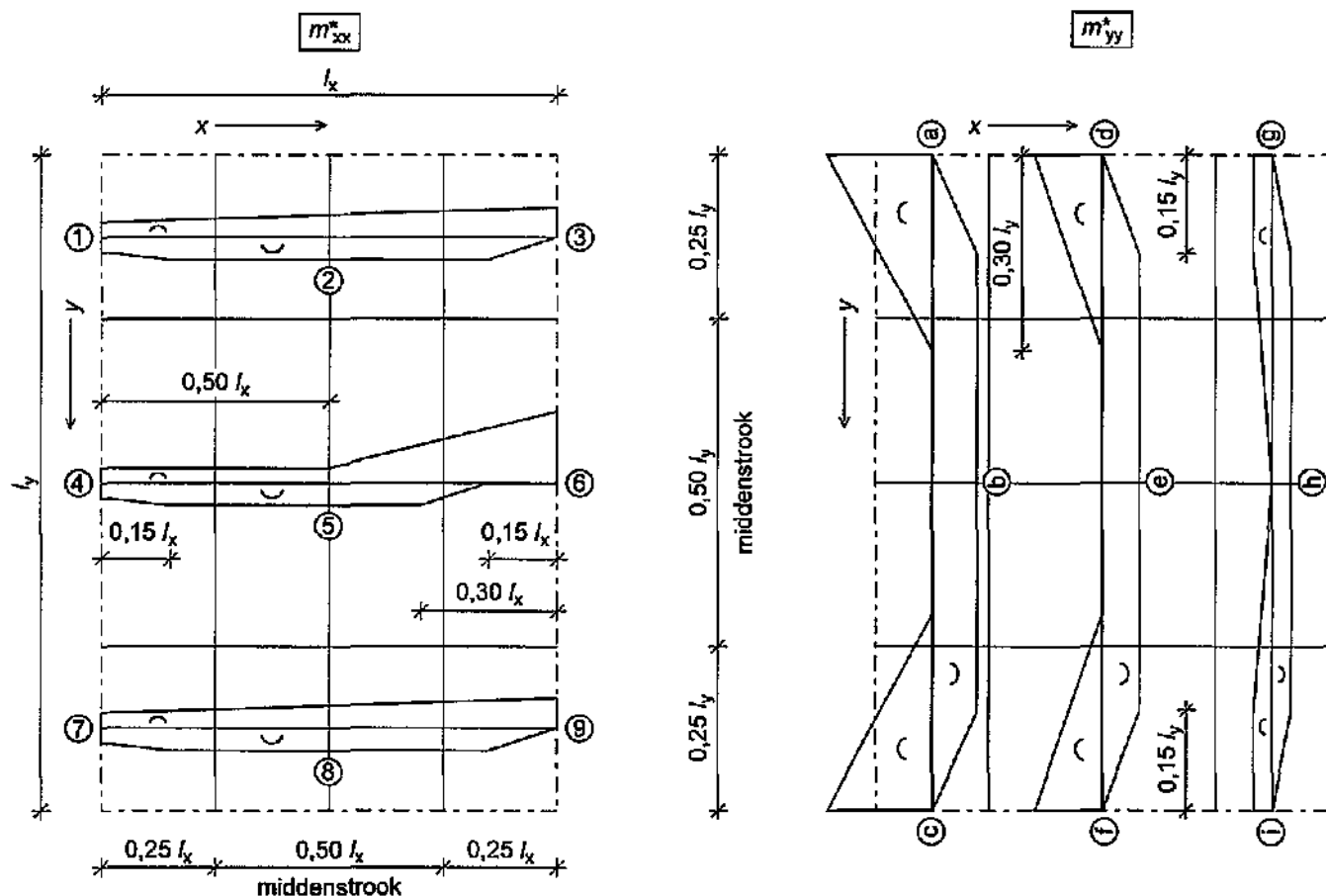
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,20	0,20
1,2	0,20	0,20
1,4	0,20	0,20
1,6	0,20	0,20
1,8	0,20	0,20
2,0	0,20	0,20

platen

• plaat II - 3

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



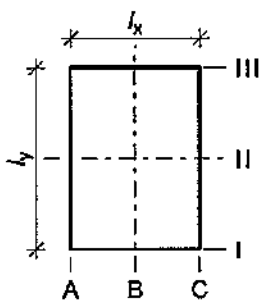
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 3	+ 15	- 15	± 2	+ 14	- 48	± 3	+ 15	- 15	- 83	+ 40	- 83	- 63	+ 30	- 63	- 15	+ 13	- 15
1,2	± 5	+ 18	- 21	± 4	+ 21	- 69	± 5	+ 18	- 21	- 115	+ 54	- 115	- 79	+ 39	- 79	- 18	+ 17	- 18
1,4	± 11	+ 24	- 28	± 6	+ 27	- 94	± 11	+ 24	- 28	- 149	+ 66	- 149	- 94	+ 47	- 94	- 21	+ 20	- 21
1,6	± 18	+ 30	- 36	± 10	+ 34	- 120	± 18	+ 30	- 36	- 182	+ 78	- 182	- 106	+ 56	- 106	- 24	+ 24	- 24
1,8	± 26	+ 36	- 45	± 15	+ 40	- 148	± 26	+ 36	- 45	- 212	+ 88	- 212	- 116	+ 64	- 116	- 27	+ 27	- 27
2,0	± 34	+ 42	- 53	± 19	+ 44	- 176	± 34	+ 42	- 53	- 239	+ 94	- 239	- 124	+ 70	- 124	- 30	+ 29	- 30

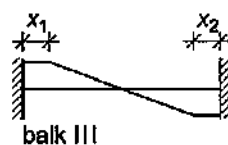
platen

• plaat II - 4

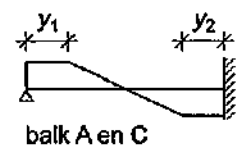
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	-55	-28	0	13	I	0	0	0	16	16	2,6
	B	0	+25	+17	0	0	II	+30	+ 4	+30	0	0	
	C	0	-55	-28	0	13	III	-49	-30	-49	19	19	
1,2	A	0	-60	-23	0	11	I	0	0	0	16	16	2,6
	B	0	+28	+14	0	0	II	+30	+ 3	+30	0	0	
	C	0	-60	-23	0	11	III	-52	-20	-52	21	21	
1,4	A	0	-63	-20	0	9	I	0	0	0	16	16	2,6
	B	0	+30	+12	0	0	II	+30	+ 2	+30	0	0	
	C	0	-63	-20	0	9	III	-55	-16	-55	23	23	
1,6	A	0	-65	-18	0	8	I	0	0	0	16	16	2,6
	B	0	+32	+10	0	0	II	+31	+ 0	+31	0	0	
	C	0	-65	-18	0	8	III	-57	-12	-57	24	24	
1,8	A	0	-67	-16	0	8	I	0	0	0	16	16	2,7
	B	0	+33	+ 9	0	0	II	+31	+ 0	+31	0	0	
	C	0	-67	-16	0	8	III	-58	-10	-58	24	24	
2,0	A	0	-69	-14	0	7	I	0	0	0	16	16	2,7
	B	0	+33	+ 9	0	0	II	+31	+ 0	+31	0	0	
	C	0	-69	-14	0	7	III	-59	- 8	-59	25	25	



geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,20	0,20
1,2	0,23	0,23
1,4	0,25	0,25
1,6	0,25	0,25
1,8	0,25	0,25
2,0	0,25	0,25



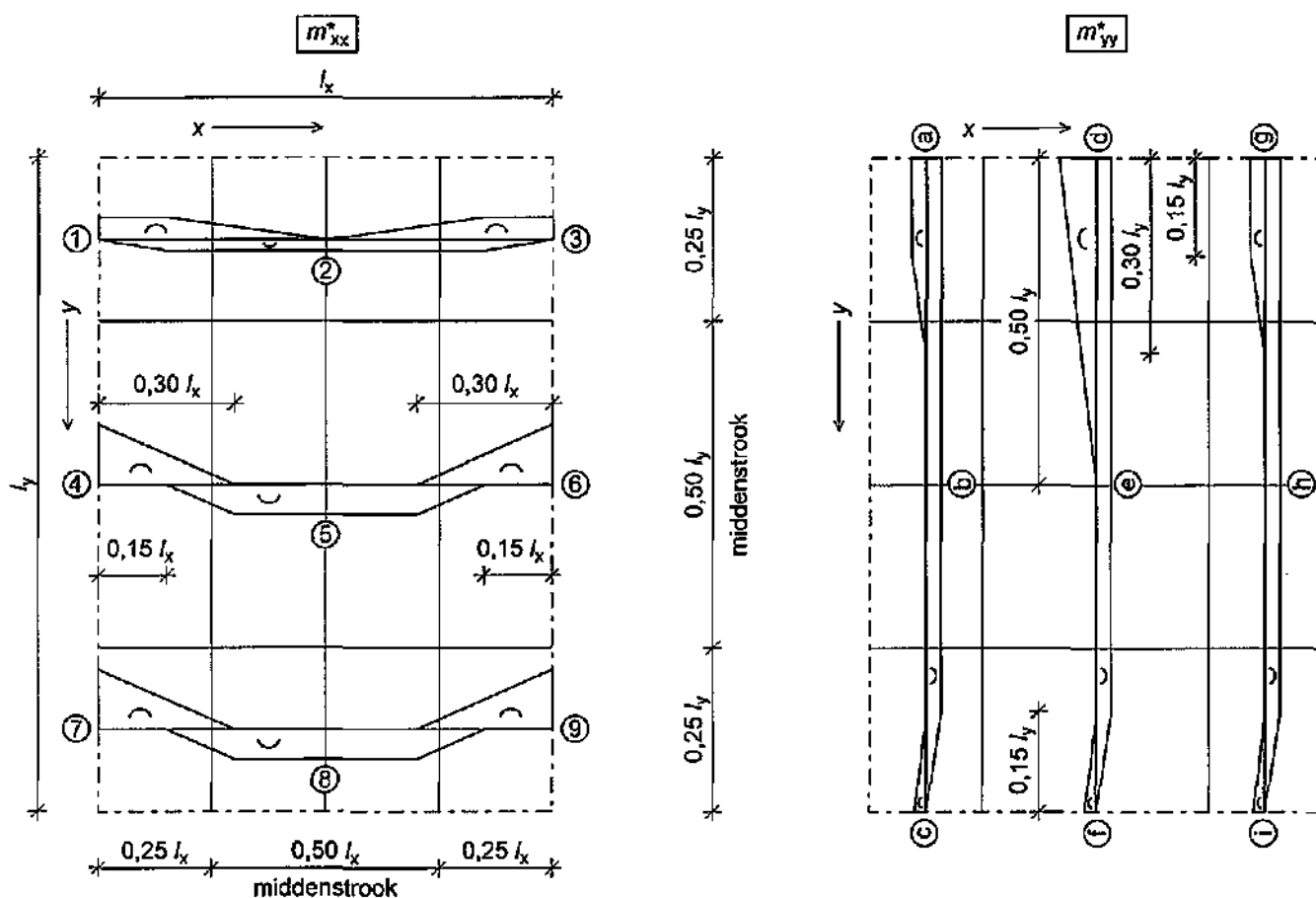
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0	0,22
1,2	0,03	0,22
1,4	0,06	0,21
1,6	0,06	0,18
1,8	0,08	0,16
2,0	0,08	0,14

platen

• plaat II - 4

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



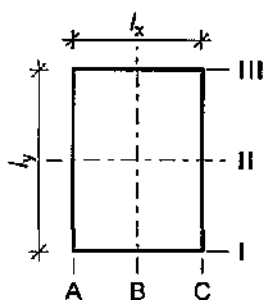
coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx} = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy} = 0,001 q_d l_y^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	-15	+13	-15	-63	+30	-63	-83	+40	-83	± 15	+15	-3	-48	+14	-2	± 15	+15	-3
1,2	-19	+14	-19	-69	+33	-69	-84	+42	-84	± 15	+15	-2	-48	+15	-2	± 15	+15	-2
1,4	-23	+15	-23	-74	+35	-74	-84	+42	-84	± 15	+15	-2	-47	+15	-2	± 15	+15	-2
1,6	-27	+17	-27	-77	+37	-77	-84	+42	-84	± 15	+15	-2	-47	+15	-2	± 15	+15	-2
1,8	-31	+18	-31	-79	+39	-79	-84	+42	-84	± 15	+15	-3	-47	+15	-2	± 15	+15	-3
2,0	-34	+19	-34	-80	+40	-80	-84	+42	-84	± 15	+15	-4	-46	+15	-3	± 15	+15	-4

platen

• plaat II - 5

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A	balk C	
1,0	A	0	0	0	0	28	I	0	0	0	0	28	36,4
	B	0	+ 6	+31	0	0	II	0	+ 6	+31	0	0	
	C	0	-125	-51	0	19	III	0	-125	-51	0	19	
1,2	A	0	0	0	0	26	I	0	0	0	0	30	50,8
	B	0	- 1	+26	0	0	II	0	+ 9	+37	0	0	
	C	0	-158	-42	0	16	III	0	- 97	-61	0	23	
1,4	A	0	0	0	0	23	I	0	0	0	0	32	64,2
	B	0	- 9	+22	0	0	II	0	+ 10	+42	0	0	
	C	0	-188	-36	0	14	III	0	- 76	-70	0	26	
1,6	A	0	0	0	0	21	I	0	0	0	0	32	75,9
	B	0	- 18	+19	0	0	II	0	+ 9	+46	0	0	
	C	0	-217	-31	0	13	III	0	- 62	-78	0	29	
1,8	A	0	0	0	0	18	I	0	0	0	0	33	85,8
	B	0	- 26	+17	0	0	II	0	+ 8	+50	0	0	
	C	0	-242	-27	0	12	III	0	- 50	-84	0	32	
2,0	A	0	0	0	0	16	I	0	0	0	0	34	94,0
	B	0	- 34	+15	0	0	II	0	+ 6	+53	0	0	
	C	0	-264	-24	0	11	III	0	- 41	-91	0	35	

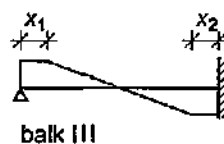


geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken

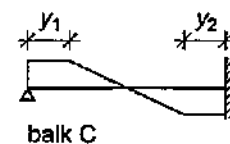
als extra indicatie voor de
krachtsverdeling zijn oplegreacties
in de ondersteunde hoeken gegeven

oplegreactie: $0,01 q_d l_x l_y \times$

l_y/l_x	A III	C I	C III
1,0	32	32	36
1,2	30	34	36
1,4	28	35	37
1,6	25	36	39
1,8	23	37	40
2,0	21	37	42



balk III



balk C

l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0	0,39
1,2	0	0,43
1,4	0	0,48
1,6	0	0,52
1,8	0	0,54
2,0	0	0,58

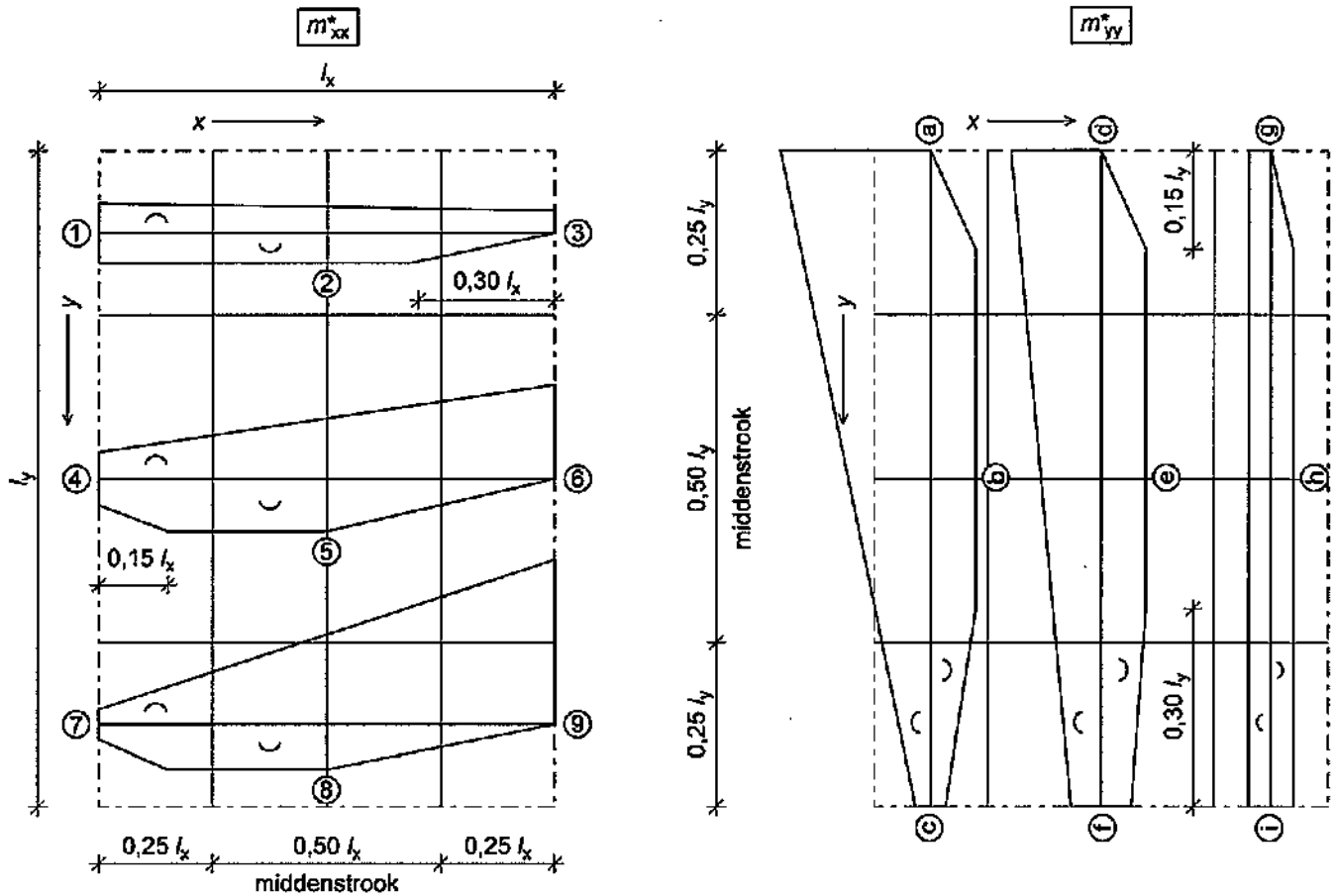
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0	0,39
1,2	0	0,34
1,4	0	0,30
1,6	0	0,28
1,8	0	0,25
2,0	0	0,23

platen

• plaat II - 5

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten

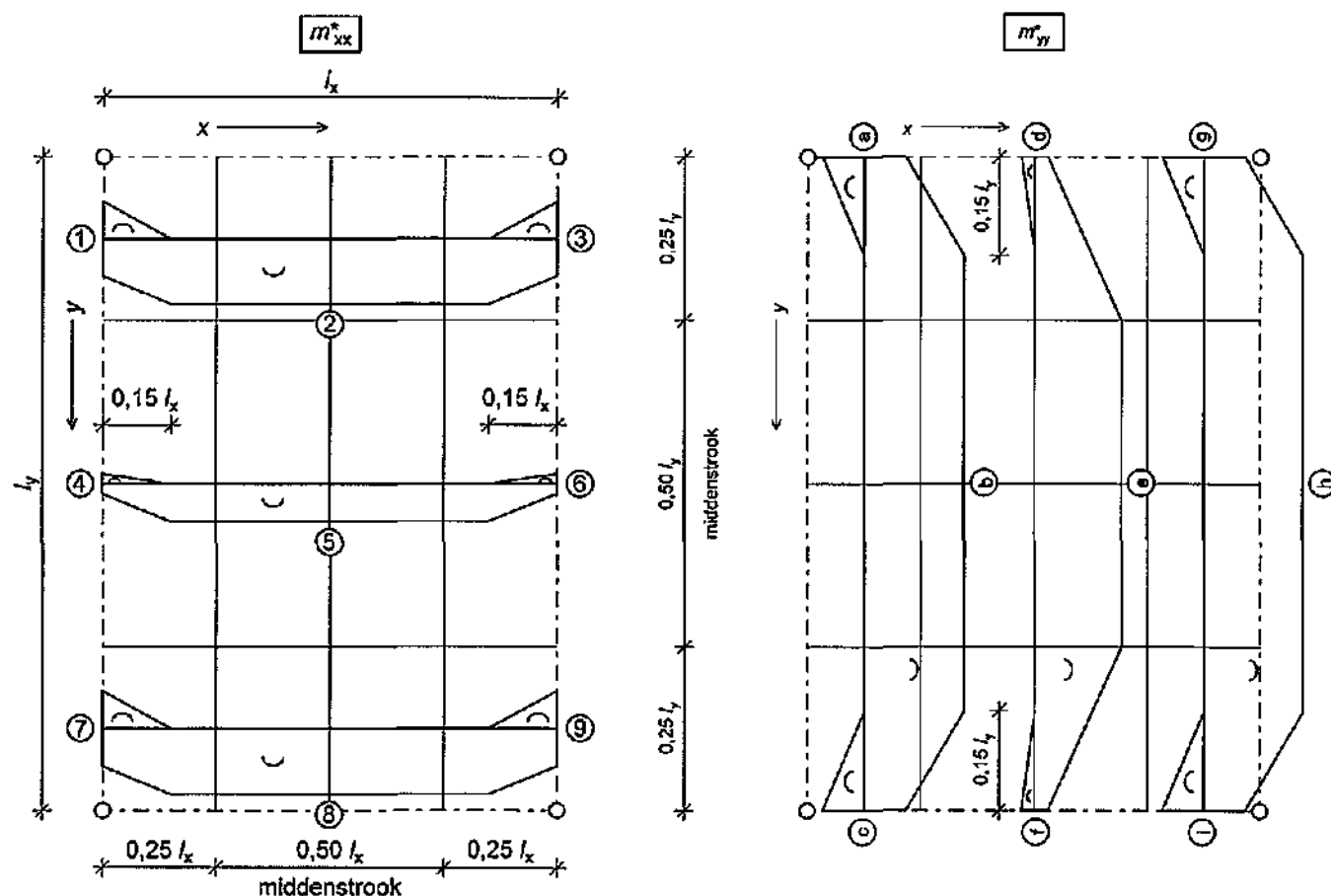


coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 34	+ 34	- 30	± 39	+ 62	-121	± 17	+ 66	-248	-248	+ 66	± 17	-121	+ 62	± 39	- 34	+ 34	± 34
1,2	± 46	+ 46	- 36	± 51	+ 69	-159	± 22	+ 64	-298	-287	+ 87	± 18	-131	+ 76	± 38	- 33	+ 33	± 33
1,4	± 57	+ 57	- 44	± 60	+ 73	-196	± 24	+ 59	-339	-315	+103	± 17	-139	+ 87	± 35	- 36	+ 36	± 36
1,6	± 65	+ 65	- 52	± 65	+ 76	-231	± 25	+ 51	-373	-334	+115	± 16	-145	+ 94	± 31	- 37	+ 37	± 37
1,8	± 72	+ 72	- 60	± 68	+ 77	-263	± 24	+ 43	-399	-347	+121	± 14	-148	+ 99	± 26	- 39	+ 39	± 39
2,0	± 77	+ 77	- 68	± 69	+ 76	-293	± 22	+ 36	-420	-355	+126	± 12	-151	+102	± 22	- 40	+ 40	± 40

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	± 76	+151	± 76	± 23	+112	± 23	± 76	+151	± 76	± 76	+151	± 76	± 23	+112	± 23	± 76	+151	± 76	28,6
1,2	± 89	+163	± 89	± 25	+107	± 25	± 89	+163	± 89	± 94	+203	± 94	± 29	+167	± 29	± 94	+203	± 94	42,9
1,4	±100	+175	±100	± 27	+101	± 27	±100	+175	±100	±111	+266	±111	± 35	+233	± 35	±111	+266	±111	66,8
1,6	±111	+187	±111	± 28	+ 94	± 28	±111	+187	±111	±127	+338	±127	± 41	+309	± 41	±127	+338	±127	103,1
1,8	±120	+199	±120	± 29	+ 87	± 29	±120	+199	±120	±143	+420	±143	± 47	+395	± 47	±143	+420	±143	155,5
2,0	±128	+210	±128	± 29	+ 80	± 29	±128	+210	±128	±160	+511	±160	± 53	+492	± 53	±160	+511	±160	228,0

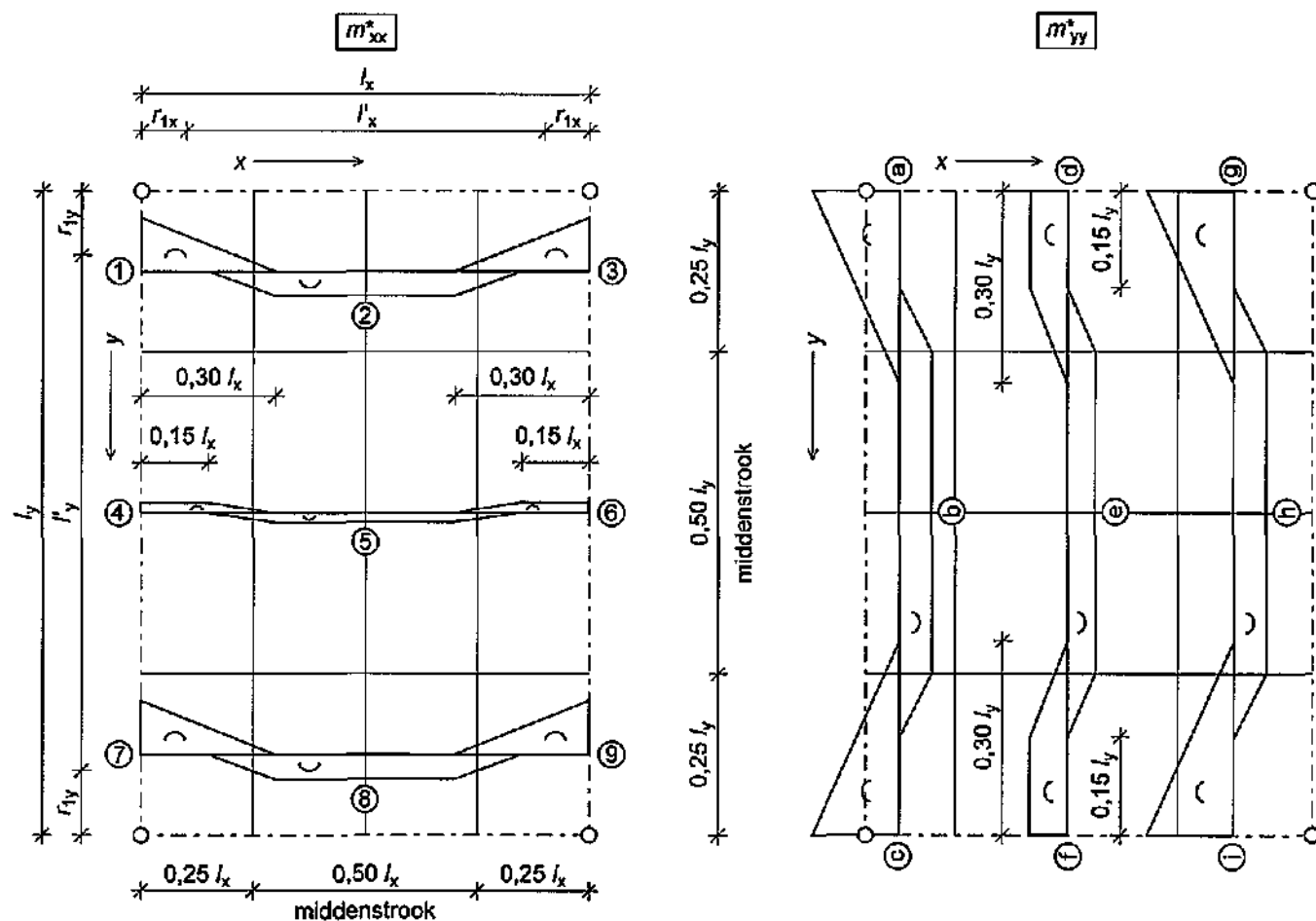
Momentenreductie voor paddestoelvloeren mag niet worden toegepast.

platen

• plaat III - 2

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

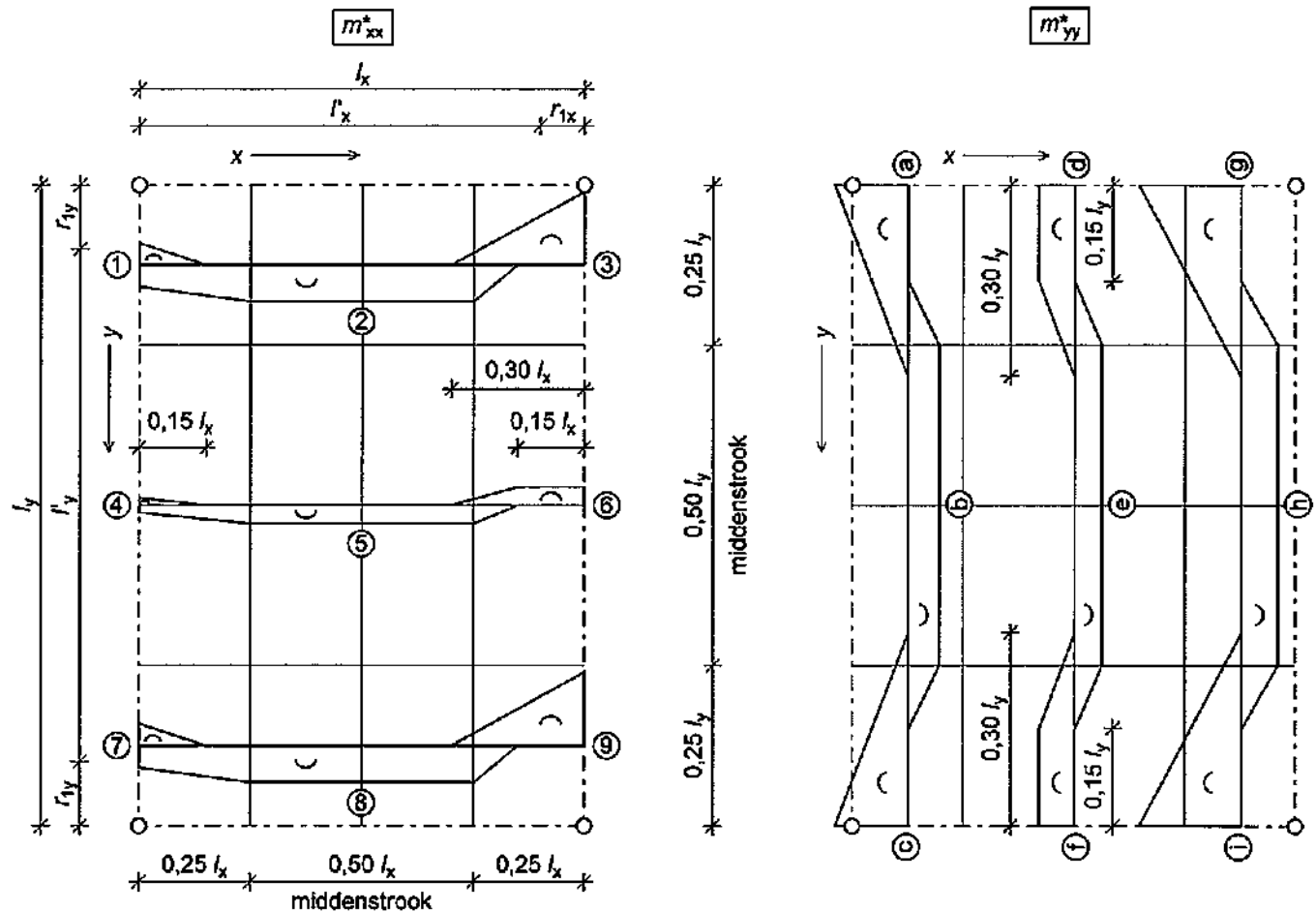
geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	-132	+ 54	-132	- 40	+ 34	- 40	-132	+ 54	-132	-132	+ 54	-132	- 40	+ 34	- 40	-132	+ 54	-132	5,8
1,2	-140	+ 61	-140	- 34	+ 30	- 34	-140	+ 61	-140	-180	+ 69	-180	- 67	+ 53	- 67	-180	+ 69	-180	8,8
1,4	-146	+ 67	-146	- 28	+ 25	- 28	-146	+ 67	-146	-235	+ 89	-235	-102	+ 77	-102	-235	+ 89	-235	13,8
1,6	-151	+ 73	-151	- 22	+ 21	- 22	-151	+ 73	-151	-296	+112	-296	-145	+104	-145	-296	+112	-296	21,1
1,8	-155	+ 78	-155	- 18	+ 17	- 18	-155	+ 78	-155	-363	+140	-363	-195	+134	-195	-363	+140	-363	31,8
2,0	-159	+ 81	-159	- 14	+ 14	- 14	-159	+ 81	-159	-437	+171	-437	-251	+167	-251	-437	+171	-437	46,6

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	± 45	+ 87	-185	± 16	+ 66	- 69	± 45	+ 87	-185	-109	+ 50	-109	- 39	+ 33	- 39	-163	+ 66	-163	8,8
1,2	± 53	+ 96	-194	± 17	+ 61	- 59	± 53	+ 96	-194	-152	+ 66	-152	- 65	+ 52	- 65	-219	+ 83	-219	12,2
1,4	± 60	+106	-202	± 18	+ 55	- 49	± 60	+106	-202	-202	+ 85	-202	- 98	+ 75	- 98	-281	+101	-281	17,1
1,6	± 66	+115	-209	± 18	+ 49	- 40	± 66	+115	-209	-259	+107	-259	-140	+102	-140	-349	+123	-349	24,8
1,8	± 71	+123	-215	± 18	+ 44	- 32	± 71	+123	-215	-323	+135	-323	-189	+132	-189	-423	+149	-423	35,7
2,0	± 76	+130	-220	± 17	+ 39	- 25	± 76	+130	-220	-394	+167	-394	-244	+165	-244	-503	+179	-503	50,9

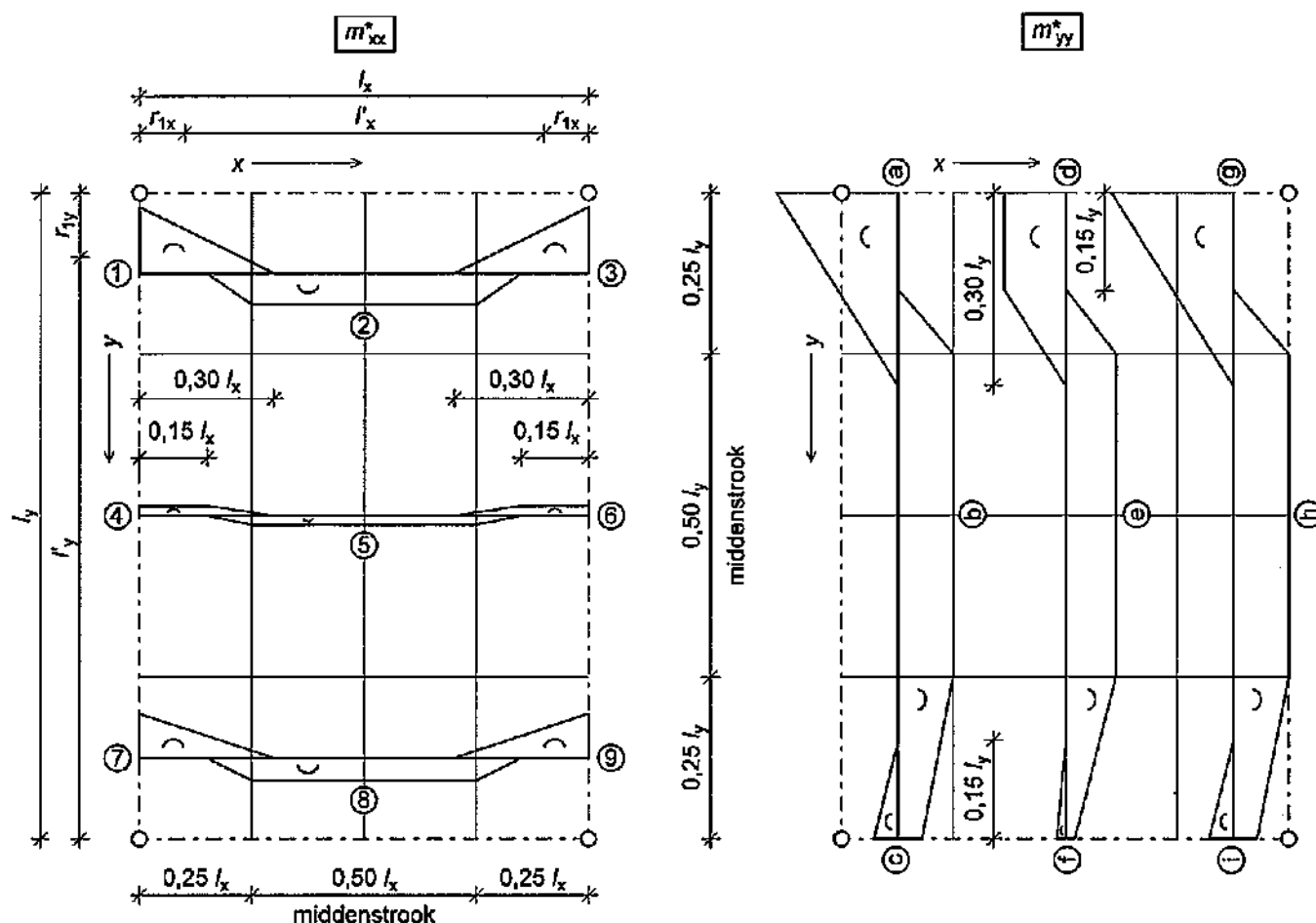
Momentenreductie voor paddestoelvloeren in x-richting is beperkt.

platen

• plaat III - 4

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

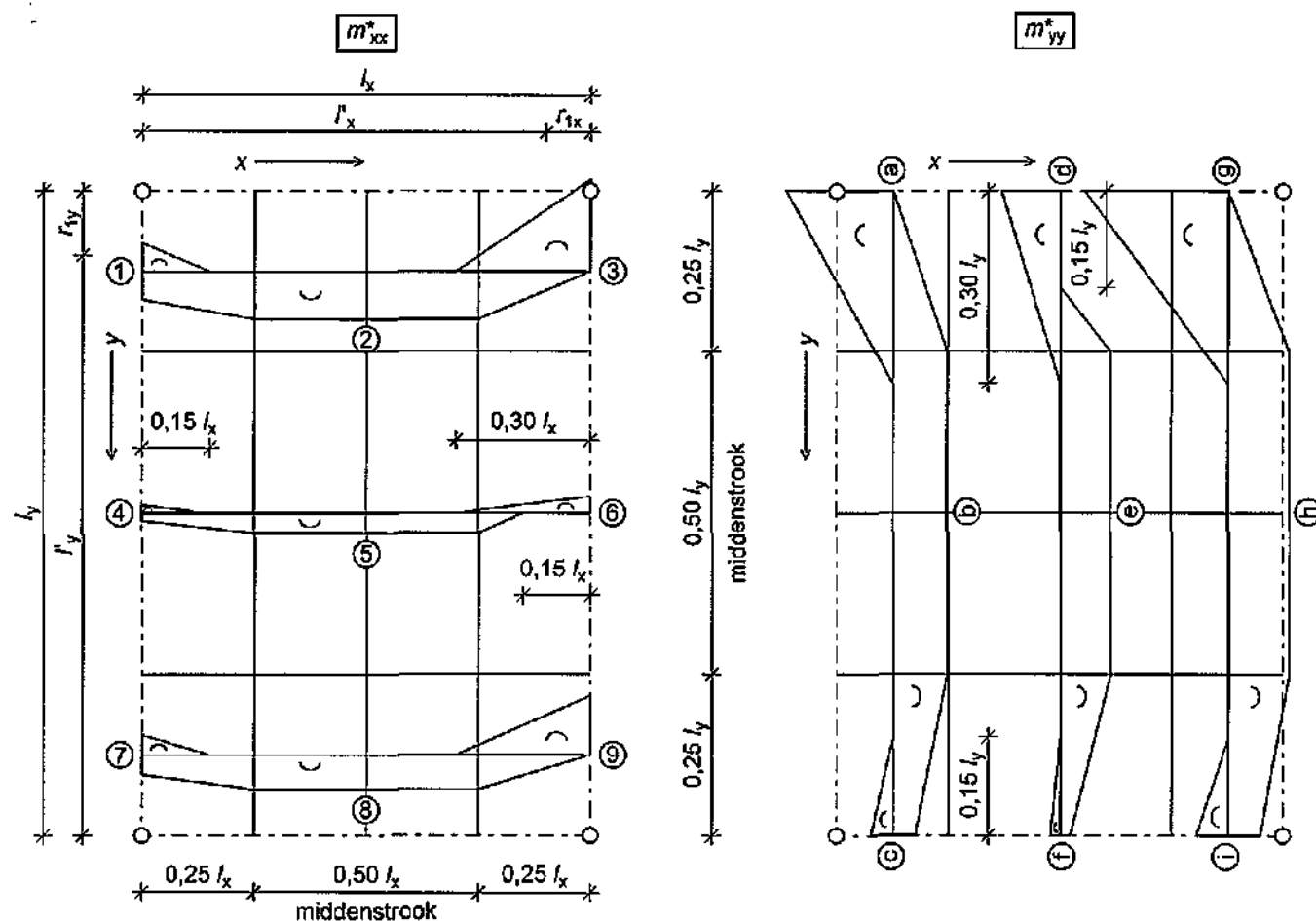
geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																		coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l^2}{EI} \times$	
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h		i
1,0	-163	+ 66	-163	- 39	+ 33	- 39	-109	+ 50	-109	-185	+ 87	± 45	- 69	+ 66	± 16	-185	+ 87	± 45	8,8
1,2	-173	+ 75	-173	- 33	+ 29	- 33	-114	+ 55	-114	-254	+116	± 55	-112	+ 98	± 20	-254	+116	± 55	14,7
1,4	-182	+ 84	-182	- 27	+ 24	- 27	-119	+ 60	-119	-333	+150	± 65	-167	+136	± 24	-333	+150	± 65	24,2
1,6	-189	+ 91	-189	- 21	+ 20	- 21	-124	+ 64	-124	-421	+190	± 74	-233	+179	± 28	-421	+190	± 74	38,7
1,8	-194	+ 97	-194	- 17	+ 16	- 17	-130	+ 67	-130	-520	+235	± 84	-309	+226	± 32	-520	+235	± 84	59,7
2,0	-198	+102	-198	- 13	+ 13	- 13	-134	+ 69	-134	-628	+286	± 94	-396	+279	± 36	-628	+286	± 94	88,6

Momentenreductie voor paddestoelvloeren in y-richting is beperkt.

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	± 58	+103	-224	± 17	+ 65	- 66	± 41	+ 82	-153	-153	+ 82	± 41	- 66	+ 65	± 17	-224	+103	± 58	11,9
1,2	± 69	+117	-238	± 19	+ 60	- 55	± 48	+ 87	-157	-215	+111	± 51	-106	+ 98	± 22	-303	+132	± 73	18,3
1,4	± 77	+130	-250	± 19	+ 54	- 45	± 54	+ 93	-161	-289	+147	± 60	-161	+137	± 27	-391	+165	± 87	28,5
1,6	± 84	+142	-260	± 19	+ 48	- 35	± 59	+ 99	-167	-373	+189	± 70	-226	+180	± 32	-487	+204	± 100	43,9
1,8	± 90	+153	-267	± 18	+ 44	- 27	± 65	+105	-173	-468	+237	± 79	-301	+228	± 37	-594	+248	± 133	66,0
2,0	± 95	+162	-274	± 17	+ 40	- 20	± 68	+110	-178	-574	+290	± 87	-387	+281	± 41	-709	+298	± 120	96,5

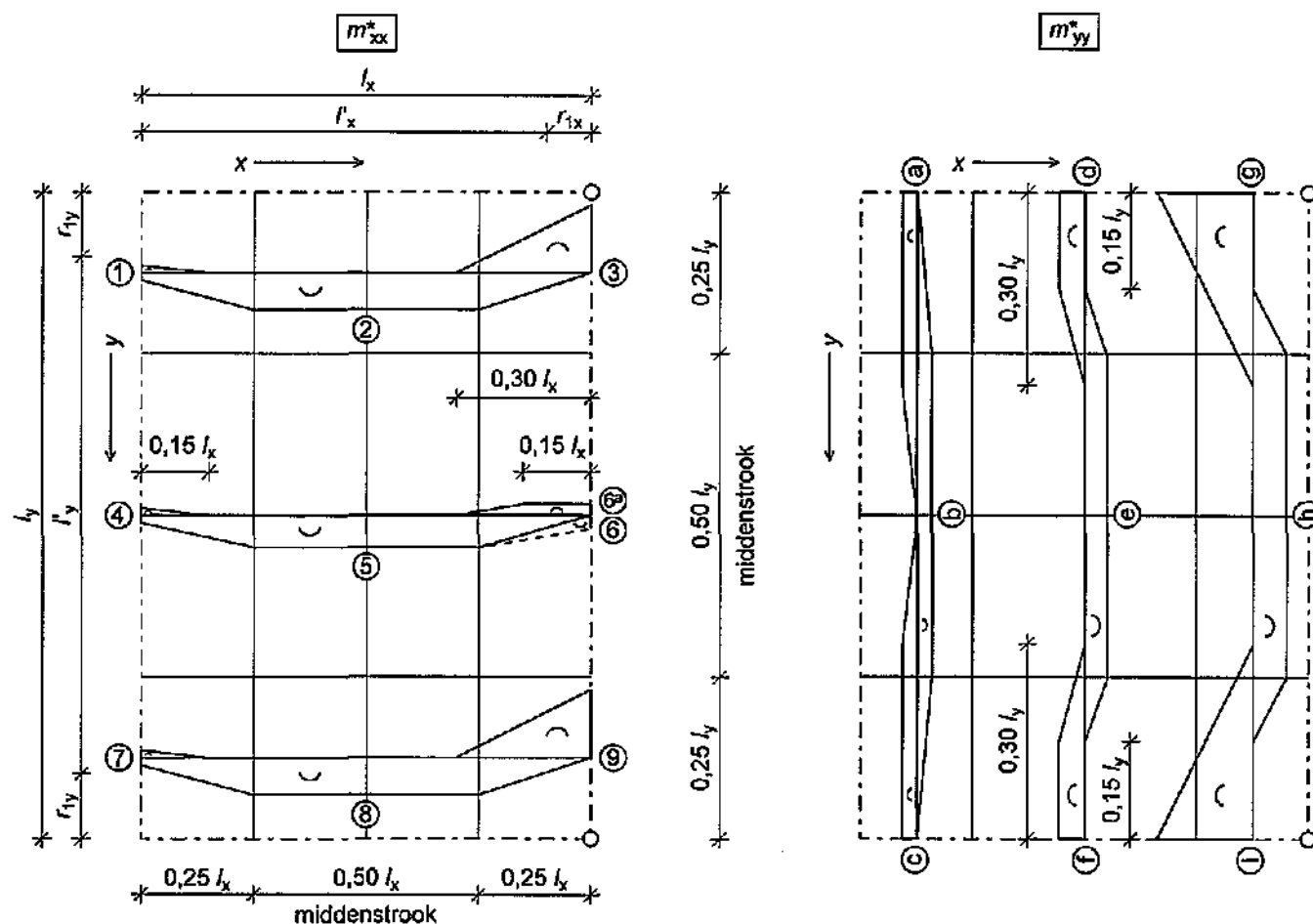
Momentenreductie voor paddestoelvloeren is beperkt.

platen

• plaat IV - 3

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten

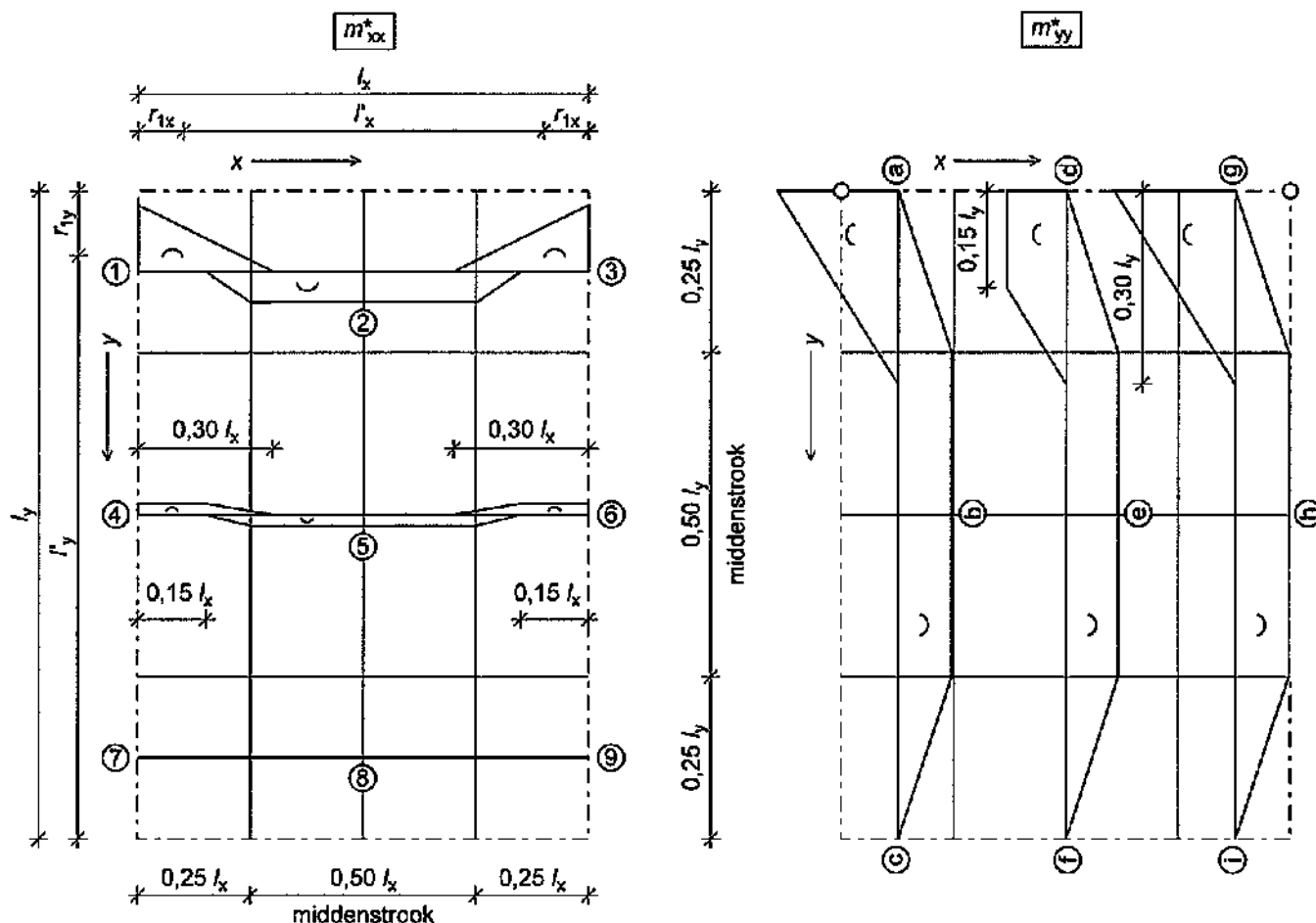


coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat	
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$										$w = 0,001 \frac{q_d l^2}{EI} \times$
	1	2	3	4	5	6	6*	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	0 + 84	-178		0 + 75	0	-62		0 + 84	-178	0	0	0	- 30	+24	- 30	-159	+ 64	-159	7,7	
1,2	± 4 + 94	-182	± 4 + 80	0	-47	± 4 + 94	-182	- 9	+ 9	- 9	- 48	+38	- 48	-210	+ 78	-210			11,5	
1,4	± 9 +109	-184	± 9 + 87	0	-29	± 9 +109	-184	-18	+17	-18	- 69	+53	- 69	-261	+ 91	-261			14,0	
1,6	±15 +124	-182	±15 + 96	+ 6	-14	±15 +124	-182	-29	+28	-29	- 92	+67	- 92	-312	+102	-312			20,3	
1,8	±23 +139	-178	±22 +107	+23	- 6	±23 +139	-178	-41	+40	-41	-115	+81	-115	-361	+111	-361			28,0	
2,0	±33 +154	-172	±29 +120	+45	- 4	±33 +154	-172	-55	+53	-55	-138	+94	-138	-406	+119	-406			37,0	

Momentenreductie voor paddestoelvloeren in x-richting is beperkt.

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat	
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$w = 0,001 \frac{q_d l_x^2}{EI} \times$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i		
1,0	-159	+ 64	-159	- 29	+ 24	- 29	0	0	0	-178	+ 84	0	- 62	+ 75	0	-178	+ 84	0	7,7	
1,2	-172	+ 74	-172	- 24	+ 21	- 24	0	0	0	-248	+111	0	-106	+105	0	-248	+111	0	15,7	
1,4	-181	+ 83	-181	- 19	+ 17	- 19	0	0	0	-327	+144	0	-162	+140	0	-327	+144	0	23,3	
1,6	-188	+ 91	-188	- 15	+ 14	- 15	0	0	0	-416	+184	0	-228	+181	0	-416	+184	0	38,2	
1,8	-193	+ 97	-193	- 12	+ 11	- 12	0	0	0	-515	+230	0	-306	+228	0	-515	+230	0	59,8	
2,0	-197	+101	-197	- 9	+ 9	- 9	0	0	0	-624	+282	0	-393	+281	0	-624	+282	0	89,9	

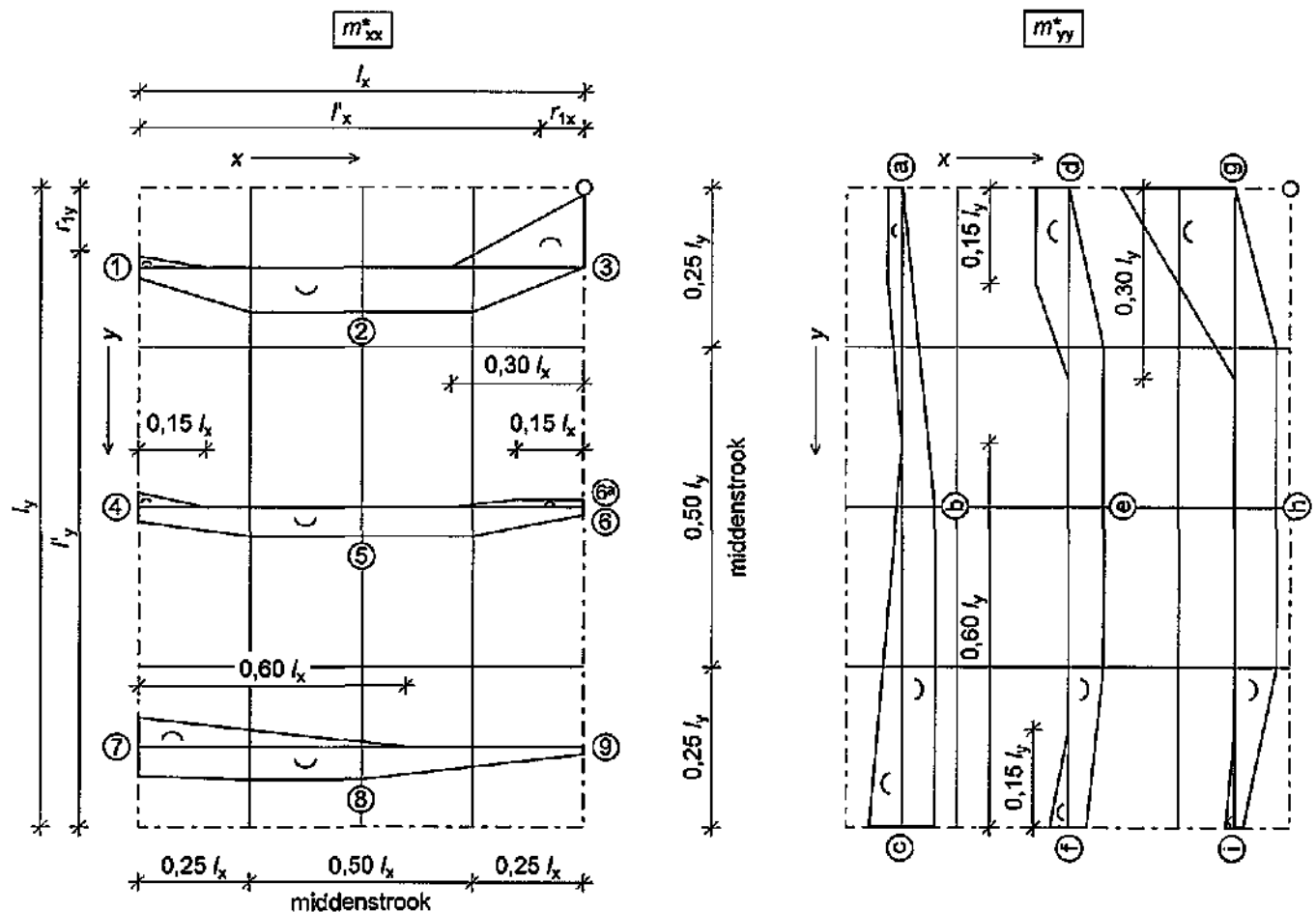
Momentenreductie voor paddlestoelvloeren in y-richting is beperkt.

platen

• plaat IV - 5

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



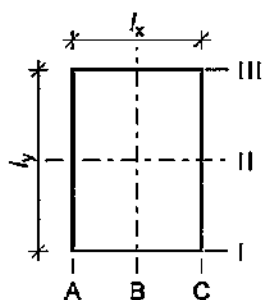
coëfficiënten voor wapeningsmomenten																			coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat	
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$										$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_y^2 \times$									$w = 0,001 \frac{q_d l^2}{EI} \times$
	1	2	3	4	5	6	6*	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1,0	± 1	+ 86	-190	± 21	+ 56	0	- 34	± 56	+ 61	0	0	+ 61	± 56	- 34	+ 56	± 21	-190	+ 86	0	7,6
1,2	± 5	+105	-199	± 19	+ 68	0	- 21	± 68	+ 73	0	- 10	+ 77	± 71	- 61	+ 76	± 35	-252	+100	0	14,1
1,4	± 12	+123	-202	± 22	+ 82	+ 15	- 12	± 82	+ 89	+ 14	- 24	+ 95	± 90	- 90	+ 96	± 50	-312	+113	± 11	19,1
1,6	± 21	+141	-200	± 28	+ 98	+ 33	- 7	± 99	+108	+ 23	- 40	+115	± 110	-117	+114	± 65	-360	+123	± 16	27,6
1,8	± 31	+157	-193	± 36	+115	+ 56	- 3	± 115	+128	+ 33	- 56	+136	± 131	-143	+132	± 80	-418	+132	± 20	37,5
2,0	± 42	+173	-185	± 44	+135	+ 82	0	± 131	+147	+ 45	- 72	+155	± 151	-166	+148	± 95	-461	+139	± 25	48,5

Momentenreductie voor paddestoelvloeren is beperkt.

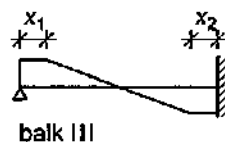
platen

• plaat V - 5

coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten												coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$	
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A		balk C
1,0	A	0	0	0	0	22	I	0	0	0	0	22	5,1
	B	0	+ 25	+33	0	0	II	0	+25	+ 33	0	0	
	C	0	- 78	-56	0	22	III	0	-78	- 56	0	22	
1,2	A	0	0	0	0	21	I	0	0	0	0	23	8,8
	B	0	+ 26	+29	0	0	II	0	+23	+ 38	0	0	
	C	0	- 92	-48	0	18	III	0	-63	- 65	0	25	
1,4	A	0	0	0	0	19	I	0	0	0	0	24	14,2
	B	0	+ 25	+25	0	0	II	0	+19	+ 43	0	0	
	C	0	-109	-41	0	16	III	0	-72	- 54	0	28	
1,6	A	0	0	0	0	18	I	0	0	0	0	25	20,6
	B	0	+ 23	+22	0	0	II	0	+16	+ 46	0	0	
	C	0	-125	-35	0	14	III	0	-46	- 80	0	31	
1,8	A	0	0	0	0	17	I	0	0	0	0	26	27,7
	B	0	+ 19	+19	0	0	II	0	+13	+ 50	0	0	
	C	0	-143	-31	0	13	III	0	-39	- 85	0	34	
2,0	A	0	0	0	0	15	I	0	0	0	0	27	35,2
	B	0	+ 14	+17	0	0	II	0	+11	+ 52	0	0	
	C	0	-161	-27	0	12	III	0	-34	- 90	0	36	



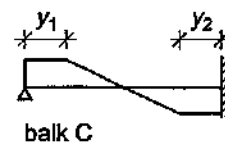
geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0	0,28
1,2	0	0,33
1,4	0	0,36
1,6	0	0,40
1,8	0	0,45
2,0	0	0,48

oplegreactie
kolom A I

l_y/l_x	$0,01 q_d l_x l_y \times$
1,0	15
1,2	15
1,4	15
1,6	14
1,8	14
2,0	13



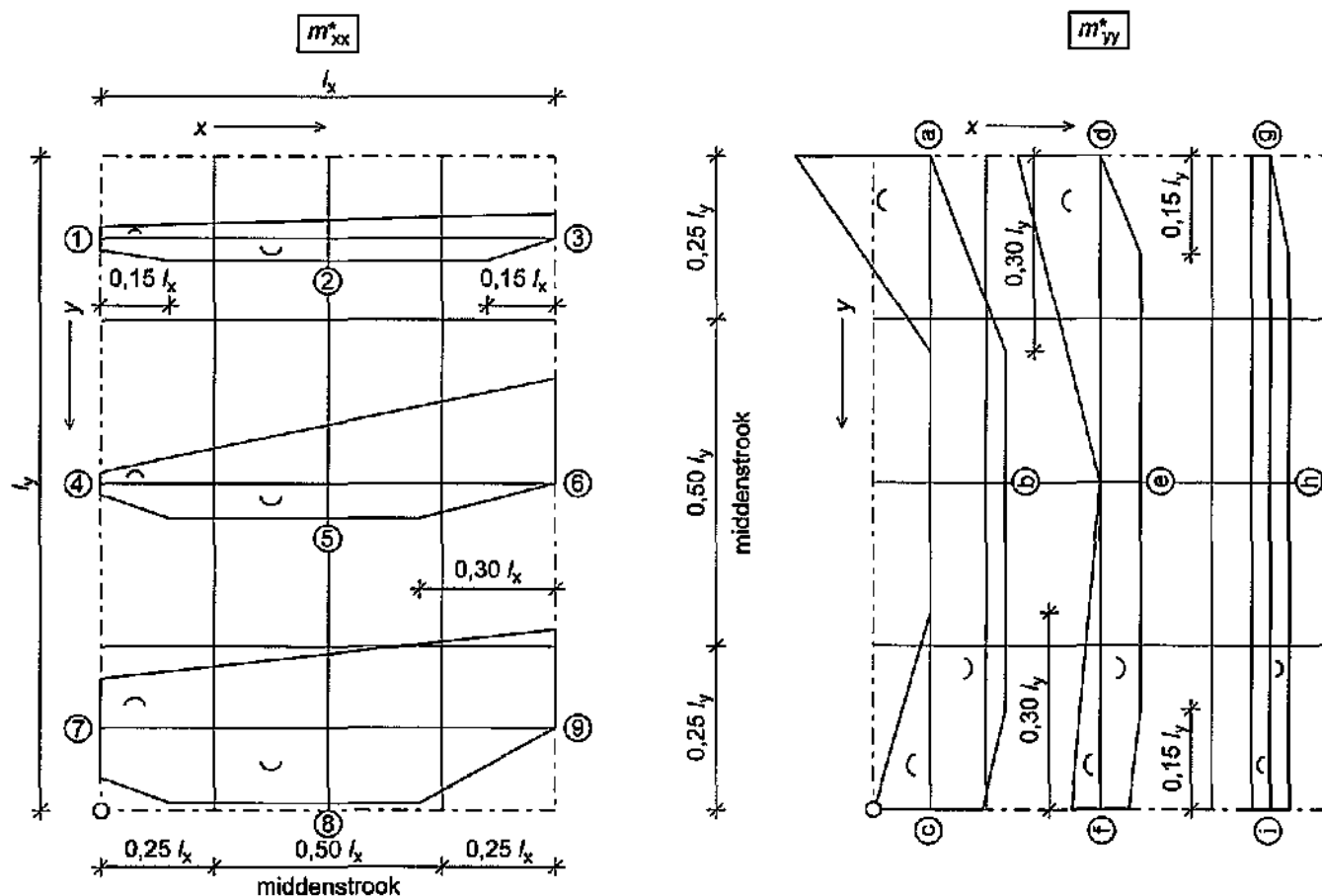
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0	0,28
1,2	0,04	0,29
1,4	0,06	0,27
1,6	0,08	0,26
1,8	0,08	0,24
2,0	0,09	0,23

platen

• plaat V - 5

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten



coëfficiënten voor wapeningsmomenten

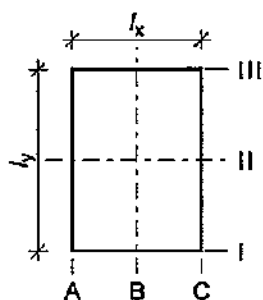
l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$									$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	a	b	c	d	e	f	g	h	i
1,0	± 2	+20	-16	± 16	+35	-88	± 50	+79	-115	-115	+79	± 50	-88	+35	± 16	-20	+20	± 20
1,2	± 7	+25	-27	± 13	+42	-113	± 58	+92	-125	-151	+95	± 63	-100	+45	± 27	-23	+22	± 22
1,4	± 16	+31	-33	± 15	+47	-139	± 66	+103	-132	-186	+108	± 75	-111	+55	± 38	-26	+25	± 25
1,6	± 25	+36	-41	± 18	+52	-166	± 73	+112	-139	-218	+121	± 87	-120	+68	± 51	-28	+28	± 28
1,8	± 35	+43	-49	± 23	+55	-194	± 80	+118	-147	-246	+131	± 98	-127	+79	± 62	-31	+34	± 34
2,0	± 44	+48	-57	± 26	+57	-221	± 86	+123	-154	-269	+139	± 107	-133	+88	± 71	-33	+41	± 41

Voor $l_y/l_x = 1$ mag voor het momentenverloop in x -richting ook het momentenverloop in y -richting worden aangehouden.

platen

• plaat V - 9

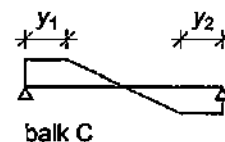
coëfficiënten voor momentensommen en dwarskrachten													coëfficiënten voor de doorbuiging van de plaat $w = 0,001 \frac{q_d l_x^4}{EI} \times$
l_y/l_x	x-richting						y-richting						
	drsn.	$M_{Edx} = 0,001 q_d l_y^2 l_x^2 \times$			$V_{Edx} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		drsn.	$M_{Edy} = 0,001 q_d l_x^2 l_y^2 \times$			$V_{Edy} = 0,01 q_d l_x l_y \times$		
		balk I	plaat	balk III	balk I	balk III		balk A	plaat	balk C	balk A	balk C	
1,0	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	33	10,4
	B	0	+ 64	0	0	0	II	0	+33	+ 92	0	0	
	C	0	-143	0	0	0	III	0	0	0	0	33	
1,2	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	34	15,6
	B	0	+ 60	0	0	0	II	0	+27	+ 98	0	0	
	C	0	-155	0	0	0	III	0	0	0	0	34	
1,4	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	36	22,6
	B	0	+ 55	0	0	0	II	0	+21	+104	0	0	
	C	0	-168	0	0	0	III	0	0	0	0	36	
1,6	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	37	30,2
	B	0	+ 50	0	0	0	II	0	+17	+108	0	0	
	C	0	-183	0	0	0	III	0	0	0	0	37	
1,8	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	38	38,1
	B	0	+ 45	0	0	0	II	0	+13	+112	0	0	
	C	0	-199	0	0	0	III	0	0	0	0	38	
2,0	A	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	39	46,0
	B	0	+ 40	0	0	0	II	0	+10	+115	0	0	
	C	0	-214	0	0	0	III	0	0	0	0	39	



geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken

oplegreactie
kolom A I en A III

l_y/l_x	$0,01 q_d l_x l_y \times$
1,0	18
1,2	17
1,4	17
1,6	16
1,8	16
2,0	14



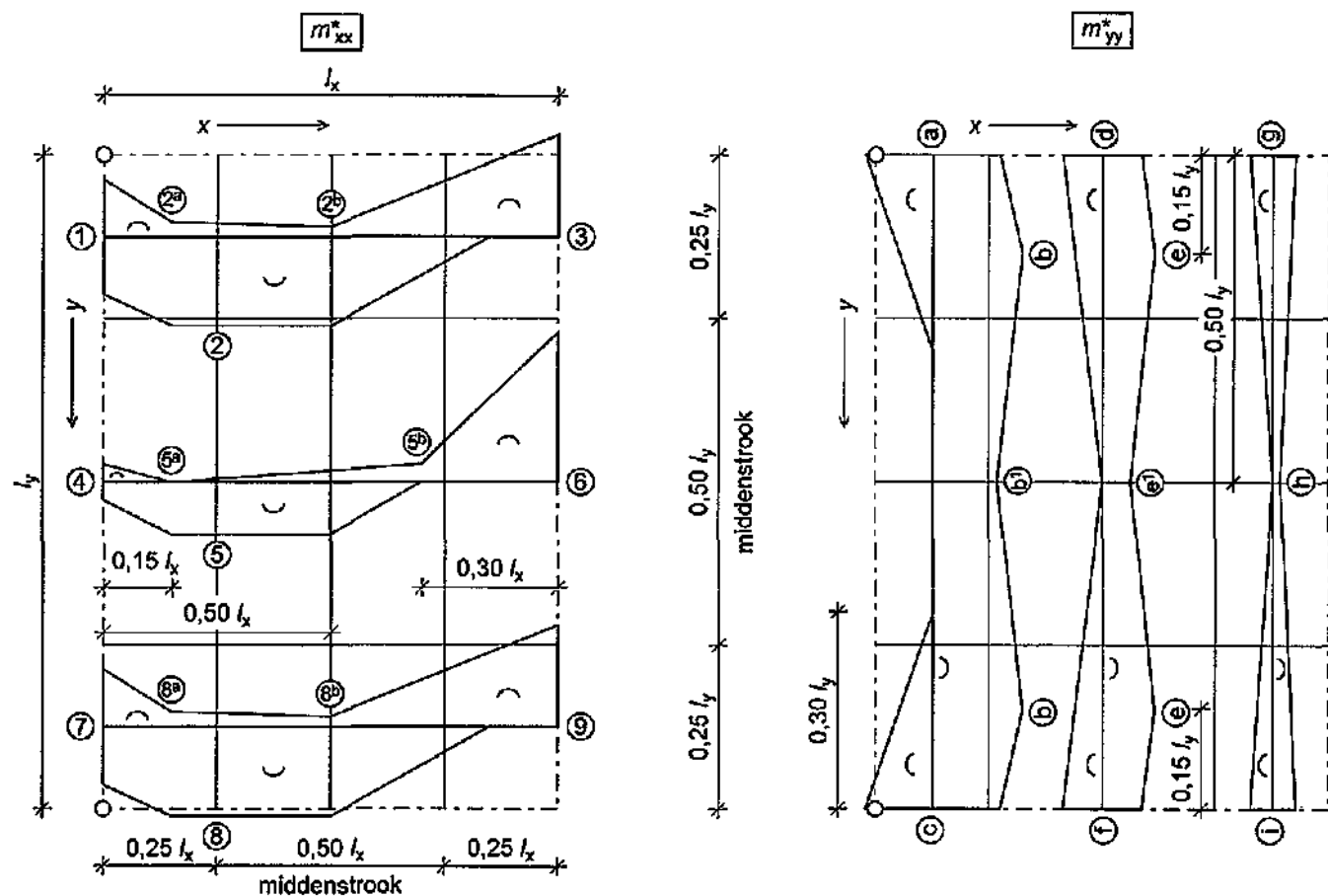
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,10	0,10
1,2	0,10	0,10
1,4	0,10	0,10
1,6	0,10	0,10
1,8	0,10	0,10
2,0	0,10	0,10

platen

• plaat V - 9

Wapeningsmomenten per lengte onder gelijkmatig verdeelde belasting

geschematiseerd verloop van wapeningsmomenten

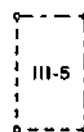
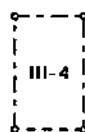
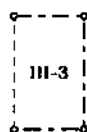


coëfficiënten voor wapeningsmomenten

l_y/l_x	$m_{xx}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$										$m_{yy}^* = 0,001 q_d l_x^2 \times$							
	1/7	2/8	2 ^a /8 ^a	2 ^b /8 ^b	3/9	4	5	5 ^a	5 ^b	6	a/c	b	b ¹	d/f	e	e ¹	g/i	h
1,0	± 58	+103	0	0	-130	± 18	+ 72	0	0	-157	± 61	+ 90	+ 70	± 29	+ 42	+ 29	± 13	+ 3
1,2	± 68	+112	- 8	- 2	-133	± 21	+ 71	0	- 8	-177	± 75	+106	+ 80	± 41	+ 56	+ 35	± 21	+ 4
1,4	± 77	+119	-20	-14	-136	± 24	+ 71	0	-24	-202	± 88	+120	+ 86	± 53	+ 70	+ 38	± 29	+ 4
1,6	± 85	+125	-32	-30	-141	± 27	+ 69	0	-40	-227	±100	+132	+ 88	± 64	+ 82	+ 40	± 37	+ 4
1,8	± 91	+129	-43	-45	-148	± 30	+ 68	- 5	-56	-251	±109	+141	+ 87	± 74	+ 91	+ 39	± 43	+ 4
2,0	± 97	+132	-52	-58	-155	± 32	+ 66	-10	-71	-275	±117	+148	+ 83	± 82	+ 99	+ 37	± 49	+ 4

platen

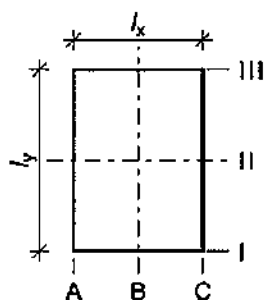
• kolomreacties platen III - 3, 4, 5



l_y/l_x	$0,01q_d l_x l_y \times$			
	A I	A III	C I	C III
1,0	19	19	31	31
1,2	19	19	31	31
1,4	19	19	31	31
1,6	19	19	31	31
1,8	19	19	31	31
2,0	19	19	31	31

l_y/l_x	$0,01q_d l_x l_y \times$			
	A I	A III	C I	C III
1,0	19	31	19	31
1,2	19	31	19	31
1,4	19	31	19	31
1,6	19	31	19	31
1,8	19	31	19	31
2,0	19	31	19	31

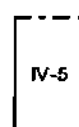
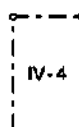
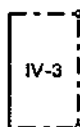
l_y/l_x	$0,01q_d l_x l_y \times$			
	A I	A III	C I	C III
1,0	15	24	23	38
1,2	15	24	23	38
1,4	15	24	23	38
1,6	15	24	23	38
1,8	15	24	23	38
2,0	15	24	23	38



platen

• kolomreacties platen IV - 3, 4, 5

kolomreacties en dwarskrachten in de balken

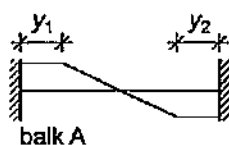


l_y/l_x	$0,01q_d l_x l_y \times$			
	kolomreacties		dwarskracht balk A	
	C I	C III	A I	A III
1,0	31	31	19	19
1,2	31	31	19	19
1,4	30	30	20	20
1,6	30	30	20	20
1,8	30	30	20	20
2,0	28	28	22	22

l_y/l_x	$0,01q_d l_x l_y \times$			
	kolomreacties		dwarskracht balk I	
	A III	C III	A I	C I
1,0	31	31	19	19
1,2	31	31	19	19
1,4	32	32	18	18
1,6	32	32	18	18
1,8	32	32	18	18
2,0	32	32	18	18

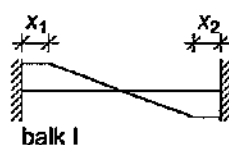
l_y/l_x	kolom	$0,01q_d l_x l_y \times$			
		dwarskracht balk I		dwarskracht balk A	
	C III	A I	C I	A I	A III
1,0	35	12	25	12	25
1,2	35	11	24	14	26
1,4	34	10	23	16	27
1,6	33	9	23	18	28
1,8	32	9	22	19	30
2,0	31	8	21	21	31

geschematiseerd verloop van dwarskrachten in de balken



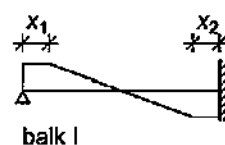
l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,05	0,05
1,2	0,06	0,06
1,4	0,08	0,08
1,6	0,10	0,10
1,8	0,12	0,12
2,0	0,14	0,14

plaat IV-3



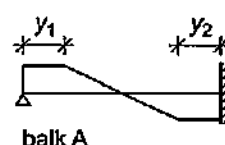
l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,05	0,05
1,2	0,05	0,05
1,4	0,05	0,05
1,6	0,05	0,05
1,8	0,05	0,05
2,0	0,05	0,05

plaat IV-4



l_y/l_x	x_1/l_x	x_2/l_x
1,0	0,12	0,05
1,2	0,13	0,05
1,4	0,14	0,05
1,6	0,15	0,05
1,8	0,16	0,05
2,0	0,17	0,05

plaat IV-5



l_y/l_x	y_1/l_y	y_2/l_y
1,0	0,12	0,05
1,2	0,12	0,07
1,4	0,12	0,09
1,6	0,12	0,11
1,8	0,12	0,13
2,0	0,12	0,15

