

ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlagenboek





Inhoud

BIJLAGE A1 – PLAN VAN AANPAK.....	
BIJLAGE A2 – PLANNING	
BIJLAGE A3 – LOGBOEK AFSTUDEREN.....	
BIJLAGE A4 – ENQUÊTE TOOL TUNNELBAK	
BIJLAGE A5 – INTERVIEW EXTERNE EXPERT	
BIJLAGE A6 – TAAKVERDELING.....	
BIJLAGE B1 – BELASTINGSONDERZOEK.....	
BIJLAGE B2 – CONTROLE EIGEN GEWICHT	
BIJLAGE C1 – ONDERZOEK SPREIDING VERKEERBELASTING.....	
BIJLAGE C2 – ONDERZOEK SPREIDING VERKEERBELASTING – UITVOER SCIA ENGINEER.....	
BIJLAGE D – MATERIAALEIGENSCHAPPEN	
BIJLAGE E – BEREKENINGSONDERZOEK	
BIJLAGE F1 – BEREKENINGSRAPPORTAGE.....	
BIJLAGE F2 – SCIA ENGINEER BEREKENINGSRAPPORTAGE	
BIJLAGE F3 – HANDBEREKENING 1 BELASTINGSGEVAL.....	
BIJLAGE G – OPTIMALISATIE VLOER	



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A1

Plan van Aanpak





ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

EEN PARAMETRISATIE VAN EEN OPEN TUNNELBAK WAARIN EEN
CONSTRUCTIEF ONTWERP WORDT GEOPTIMALISEERD

Plan van Aanpak



COLOFON

Project:	ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN
Titel:	Een parametrisatie van een open tunnelbak waarin een constructief ontwerp wordt geoptimaliseerd
Ondertitel:	Plan van Aanpak
Status:	Definitief
Versie:	A
Datum:	12 maart 2018
Opleiding:	Civiele Techniek – Constructief Ontwerp
Afstudeerbedrijf:	Wagemaker te Rosmalen
Onderwijsinstelling:	Avans Hogeschool te 's-Hertogenbosch
Afstudeerperiode:	B11/B12 periode van februari 2018 t/m juli 2018
Afstudeerdocenten:	Michael van Nielen Jaap van Veldhoven
Afstudeerbegeleiders:	Dennis Schoenmakers (DSc) Jeffrey Haverhals (JHa)
Auteur(s):	Jeroen Heijkoop (JHe) Rick Wijnbeek (RWi)
Email adres:	j.heijkoop@student.avans.nl fw.wijnbeek@student.avans.nl

Vrijgegeven door:



Voorwoord

Voor u ligt het plan van aanpak voor het afstudeeronderzoek “Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten”. Dit afstudeeronderzoek wordt, onder leiding van Adviesbureau voor Bouwconstructies Wagemaker, uitgevoerd door Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop. Er is door ons beide gekozen voor dit onderzoek, omdat het aansluit bij onze opleiding Civiele techniek, afstudeerrichting Constructief Ontwerp, aan Avans Hogeschool. Het afstudeeronderzoek startte per 29 januari 2018 en heeft als uiterlijke inleverdatum 14 juni 2018.

Deze afstudeeropdracht is samengesteld door Wagemaker, omdat er behoefte is aan een geautomatiseerd berekeningsproces van een tunnelbak. Samen met de bedrijfsbegeleiders, Dennis Schoenmakers (DSc) en Jeffrey Haverhals (JHa), zijn we tot een onderzoek gekomen, wat voor ons leerzaam is en relevant voor Wagemaker is. De begeleiding vanuit de opleiding wordt verzorgd door Michael van Nielen, met als 2^e beoordelaar Jaap van Veldhoven. Deze begeleiding wordt gegeven vanuit het afstudeeratelier Constructief Ontwerp.

Wij kijken uit naar een leerzaam afstudeeronderzoek en naar een prettige samenwerking met onze begeleiders en de andere medewerkers van Wagemaker en Avans Hogeschool.

Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek

Inhoudsopgave

VOORWOORD	III
1. INLEIDING.....	1
2. PROJECTRESULTATEN.....	2
2.1. AANLEIDING.....	2
2.2. PROBLEEMSTELLING	2
2.3. DOELSTELLING.....	3
2.4. ONDERZOEKSVRAGEN	4
2.5. RESULTATEN	4
3. PROJECTACTIVITEITEN.....	6
4. PROJECTGRENZEN.....	7
5. KWALITEIT	8
5.1. PRODUCT	8
5.2. PROCES.....	8
6. PLANNING	9
7. WAGEMAKER ALS ORGANISATIE	10
8. PROJECTORGANISATIE	11
8.1. DE AFSTUDEERDERS.....	11
8.2. DE BEDRIJFSBEGELEIDERS.....	11
8.3. DE AFSTUDEERBEGELEIDERS	11
9. PERSOONLIJKE DOELEN	12
10. LITERATUUR.....	13
11. BIJLAGE.....	14
BIJLAGE B: PLANNING	14

1. Inleiding

Er is een toenemende vraag naar ongelijkvloerse spoorwegovergangen en kruisingen om incidenten te voorkomen en de doorstroming te bevorderen. De berekeningen hiervoor zijn semiautomatisch, waardoor er een veelvuldig herhaald proces benodigd is om tot een eindresultaat te komen.

Wagemaker heeft aan een tweetal studenten van Avans Hogeschool de opdracht gegeven om de mogelijkheden te onderzoeken tot het automatiseren van deze berekening. Het doel van dit onderzoek is uiteindelijk om een ontwerptool voor een definitief ontwerp op te stellen, waarin de dimensies en wapening van de constructie berekend worden. Het is mogelijk dat na dit onderzoek blijkt dat deze berekening niet geschikt is om in een tool te verwerken.

Het onderzoek moet als afbakening hebben dat de te onderzoeken software binnen de kennis van de studenten valt. Ook moet de tool een afbakening hebben om tot een realistisch resultaat te kunnen komen. Zo worden kosten en de manier van funderen buiten beschouwing gelaten.

Als eerste wordt begonnen met een vooronderzoek. In dit vooronderzoek worden aspecten zoals geometrie, ontwerpeisen en beoogde gebruikers onderzocht. Er wordt afgesloten met een conclusie waaruit blijkt of het mogelijk is om de tool met de beschikbare software op te stellen. Na dit vooronderzoek wordt een vervolgonderzoek opgesteld waarin de tool wordt afgebakend en de berekeningen worden onderzocht. Als dit gereed is kan het hoofdonderzoek van start gaan: het convergerende onderdeel van het onderzoek. In dit hoofdonderzoek wordt de tool uiteengezet en uiteindelijk ook ontwikkeld.

In de rapportage wordt veelvuldig gesproken over de tunnelbak. Tijdens de constructieve berekening wordt echter maar een gedeelte (moot) van deze tunnelbak berekend. In dit onderzoek wordt gerefereerd naar de term open tunnelbak in plaats van open tunnelmoot. Dit om het gebruik van beide termen door elkaar te voorkomen.

2. Projectresultaten

In dit hoofdstuk is de projectopdracht gedefinieerd. Als eerste is de aanleiding van het onderzoek beschreven. De aanleiding voor de markt, Wagemaker en de afstudeerders is uiteengezet. Als tweede is de probleemstelling beschreven, opgevolgd door het doel van het onderzoek en de hoofd- en deelvragen. Als laatste zijn de beoogde resultaten opgesomd.

2.1. Aanleiding

Nederland telt ongeveer 2.600 spoorwegovergangen. Een spoorwegovergang is een gelijkvloerse kruising van een spoorlijn met een weg. Recent zijn er op een aantal van deze kruisingen verkeersongevallen voorgekomen. Vaak hebben deze ongevallen een dodelijke afloop tot gevolg. Ook is een gelijkvloerse kruising een enorme belemmering voor de doorstroming van het verkeer. Er moet gewacht worden voor de rode seinen en hierdoor ontstaan files op belangrijke ontsluitingswegen. Ook moet er gedacht worden aan gelijkvloerse kruisingen van (fiets)verkeer, waarbij opstoppen ontstaan. (ProRail, 2018)

Steeds meer gelijkvloerse kruisingen, worden verbouwd tot ongelijkvloerse kruisingen. In een groot aantal gevallen wordt hierbij een onderdoorgang toegepast. De weggebruiker kruist de (spoor)weg door middel van een tunnel. Bij deze methode wordt veelal een open tunnelbak toegepast. De expertise van Wagemaker ligt onder andere bij het constructieve ontwerp van deze onderdoorgangen. Hierdoor krijgt Wagemaker veel opdrachten voor het constructieve ontwerp van deze open tunnelbakken.

Zelf willen wij onze constructieve kennis uitbreiden. Tijdens de minor Constructief Ontwerp zijn wij voor het eerst een half jaar lang dagelijks bezig geweest met de constructieve kant van de Civiele Techniek. Het constructieve ontwerp van een open tunnelbak is een uitgelezen kans om deze kennis te verbeteren.

2.2. Probleemstelling

Als er open tunnelbakken wordt toegepast om verkeersstromen te geleiden, worden er vaak aannames gedaan wat betreft de dimensies van de open tunnelbak. Pas in een later stadium van het ontwerpproces kunnen deze afmetingen gevalideerd worden. Hierdoor wordt bij verkeerde aannames van de dimensies de gehele constructieve berekening opnieuw uitgevoerd. Dit optimalisatieproces is erg tijdrovend.

De onderdoorgangen worden op dit moment berekend doormiddel van een tijdrovende semiautomatische berekening, waarin de constructeur de verschillende handelingen veelvuldig opnieuw moet uitvoeren. Wapeningsberekeningen voor moot A dienen bijvoorbeeld ook uitgevoerd te worden voor moot B. Dit houdt in dat de volledige berekening voor een nagenoeg gelijke moot, volledig opnieuw uitgevoerd wordt.

Als laatste is het momenteel niet mogelijk om de gehele constructieve berekeningen voor de open tunnelbakken te gebruiken tijdens meerdere projecten. Echter zijn deze projecten in de basis qua geometrie gelijk aan elkaar.

2.3. Doelstelling

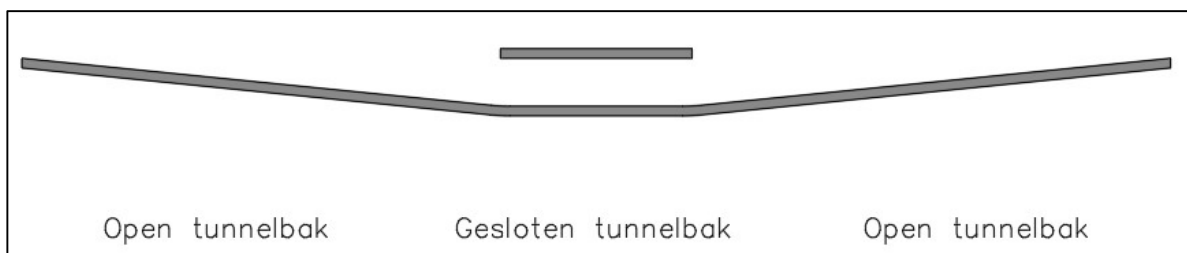
Het parametriseren draagt bij aan het automatiseren van de gehele bouwindustrie. De bouw is een van de weinige industrieën, welke nog niet volledig geautomatiseerd zijn. Veel berekeningen worden handmatig of semiautomatisch uitgevoerd. Er wordt veelvuldig gebruik gemaakt van spreadsheets, echter zijn deze spreadsheets niet zodanig opgebouwd dat deze volledig geautomatiseerd kunnen worden. In de toekomst worden volledige berekening, zoals deze tunnelbak berekening, geautomatiseerd aan de hand van een invoerveld. Vanuit dit invoerveld wordt het berekeningsrapport opgesteld, wordt het BIM-model gemaakt en worden de desbetreffende tekening als output gegeven. Het parametriseren van de gehele berekening en de daarbij behorende berekeningsrapportage is een klein onderdeel van dit enorme proces.

Het doel van deze afstudeeropdracht is om in een half jaar voor Wagemaker een onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden om een berekening te parametriseren door middel van een ontwerptool, welke gericht is op een definitief ontwerp van een open tunnelbak. De meetbaarheid van deze opdracht vertaalt zich in het eindproduct, de ontwerptool, met als output de validatie van de wapening en dimensies. Ook zal het vooronderzoek essentieel zijn voor de samenstelling van het onderzoek en de tool.

Als verder doel wordt gesteld dat Wagemaker, als ons aandeel in het onderzoek voltooid is, de mogelijkheid heeft om de ontwerptool verder te automatiseren naar een BIM-model om vanuit daar automatisch tekening, buigstaten en materiaallijsten enzovoort op te stellen.

Het opstellen van een ontwerptool is zeer relevant voor Wagemaker. Door deze tool wordt er ingesprongen op de groeiende vraag naar onderdoorgangen. Doordat de berekening geautomatiseerd wordt, is het eenvoudig om optimalisatieberekeningen uit te voeren. Met het oog op duurzaamheid, uitvoeringstijd en kosten is dit een groot voordeel.

Een tunnelbak is uitermate geschikt om te parametriseren, aangezien de hoofdlijnen van de geometrie in de basis overeenkomen tussen de verschillende projecten. Deze ontwerptool zorgt ervoor dat de tunnelbak in een definitieve ontwerpvorm uitgewerkt wordt. Ook wordt hierin de wapening berekend, waardoor er een overzicht van de hoeveelheid wapening ontstaat. Door deze tool kan een berekening, welke normaliter ongeveer anderhalve week in beslag neemt, in een dagdeel uitgevoerd worden. Door deze automatisatie wordt er tevens gezorgd voor een vorm van fouteneliminatie. Ook kunnen de dimensies en de wapening door middel van de tool geoptimaliseerd worden. De tool heeft als bijkomend voordeel dat deze buiten het definitief ontwerp ook in de tenderfase gebruikt kan worden, zodat er snel een inschatting gemaakt wordt van de dimensies en de wapening.



Figuur 1: Schematische weergave tunnelbak (langsdoorsnede)

2.4. Onderzoeksvragen

Om een goed onderzoek uit te voeren, moeten er hoofd- en deelvragen geformuleerd worden. Dit om gericht onderzoek uit te voeren.

Hoofdvraag:

Hoe is het mogelijk om een ontwerptool te ontwikkelen voor een parametrisch DO-berekening van een open tunnelbak?

Deelvragen:

Deze hoofdvraag wordt onderverdeeld in een aantal deelvragen:

1. Wat zijn de voordelen en nadelen van een ontwerptool
2. Hoe kan duurzaamheid geïmplementeerd worden in het onderzoek?
3. Welke software is beschikbaar voor de ontwerptool?
4. Hoe kan de beschikbare software gebruikt worden om de ontwerptool te ontwikkelen?
5. Hoe kan de rekenprogrammatuur in combinatie met de ontwerptool optimaal gebruikt worden?
6. Wie zijn de beoogde gebruikers van de tunnelbak en wat heeft dat voor consequenties voor het ontwerp en de belastingen?
7. Welke belastingen zijn van toepassing op een open tunnelbak?
8. Welke belastingcombinaties dienen er gegenereerd te worden?
9. Welke constructieve berekeningen moeten uitgevoerd worden om tot een DO-berekening te komen en waaraan moeten deze berekeningen voldoen?
10. Wat is de invloed van de geometrie op de berekening?
11. Hoe kunnen deze constructieve berekeningen in een tool verwerkt worden?

2.5. Resultaten

Gedurende de afstudeerperiode zullen er meerdere producten opgeleverd worden. Onderstaand zijn alle op te leveren producten opgesomd.

Project gerelateerd

- Plan van aanpak
 - Donderdag 1 maart, 12:00 uur
- Concept rapportage
 - Donderdag 24 mei, 12:00 uur
- Toestemming hbo-kennisbank
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- Losbladige Nederlandse samenvatting
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- Losbladige Engels samenvatting
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- Definitieve rapportage
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur

Opleiding gerelateerd

- Tussenpeiling bedrijfsbegeleider
 - Vrijdag 13 april, 12:00 uur
- Groen-Rood peiling
 - Dinsdag 05 juni, 12:00 uur
- Collage voor afstudeerboek
 - Dinsdag 05 juni, 12:00 uur
- Reflectieverslag voor docenten
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- Afbeelding voor Bachelor uitreiking
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- USB-Stick voor externe deskundige
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
- Eindrapportage
 - Donderdag 14 juni, 12:00 uur
 - PvA
 - Planning
 - Afstudeeronderzoek
 - Samenvatting
 - Bijlagenlijst

3. Projectactiviteiten

In dit hoofdstuk is beschreven hoe het onderzoek uitgevoerd wordt. Dit om vooraf inzicht te krijgen in alle werkzaamheden.

Allereerst wordt begonnen met een vooronderzoek. Het vooronderzoek zal een exploratief onderzoek zijn. Er wordt informatie opgezocht over verschillende aspecten van een open tunnelbak. In dit vooronderzoek worden onder andere duurzaamheidsaspecten en procesverbetering meegenomen en wordt onderzocht welke software voorhanden is. Het softwareonderzoek wordt uitgebreid door kwantitatief onderzoek onder de stakeholders (de constructeurs van Wagemaker) door middel van een enquête en bijkomende interviews. Vervolgens wordt onderzocht welke geometrie open tunnelbakken hebben. Dit kan verschillen van haakse wanden versus schuine wanden tot oren en verkanting in het beton. Beoogde tunnelgebruikers en de specifieke ontwerpisen worden ook onderzocht. Hieruit wordt de conclusie getrokken; hoe de tool ontwikkeld wordt. (Scribbr, 2018)

Na dit vooronderzoek volgt een belastingonderzoek waarin de belastingen, welke optreden op een open tunnelbak, worden beschreven. Deze belastingen worden opgesplitst in rustende belasting en variabele belasting. Vanuit al deze belastinggevallen worden verschillende belastingcombinaties gegenereerd. Het belasting onderzoek bestaat vooral uit deskresearch. Er wordt literatuuronderzoek uitgevoerd naar de verschillende belastingen. Ook zal de tool afgebakend worden. En niet minder belangrijk, er wordt onderzocht welke constructieve berekeningen uitgevoerd dienen te worden om tot een definitief ontwerp te komen. Het berekeningsonderzoek bestaat voornamelijk uit deskresearch.

Het berekeningsonderzoek bevat het convergerende onderdeel van het onderzoek en is een direct resultaat van de conclusies volgend uit het vooronderzoek. Er wordt toegewerkt naar het eindresultaat, de tool. Dit gebeurt door het schematiseren en modelleren van de constructie waarna de krachtswerking bepaald wordt. Aspecten zoals opdrijving, wapening in de vloeren en wanden en detailberekeningen zijn ook onderdeel van de tool. De koppeling met SCIA moet aanwezig zijn dus er moet onderzocht worden hoe deze output geïmplementeerd kan worden in een functionele tool.

Ten slotte wordt het eindrapport opgesteld met daarin het vooronderzoek, de belastingen en de berekeningen. Als 2^e eindproduct zal de ontwerptool opgeleverd worden in de vorm van een berekeningsrapportage.

4. Projectgrenzen

Omdat er maar een half jaar de tijd is voor het afstudeeronderzoek, is het belangrijk om de afbakening goed te beschrijven. Dit is noodzakelijk om het overzicht te bewaren en geen onnodig aantal deelvragen op te stellen.

Tijdens het vooronderzoek wordt een softwareonderzoek uitgevoerd. Alleen softwarepakketten waar wij als studenten ervaring mee hebben worden meegenomen in de afwegingen. Dit is noodzakelijk om na het vooronderzoek daadwerkelijk de tool op te kunnen stellen.

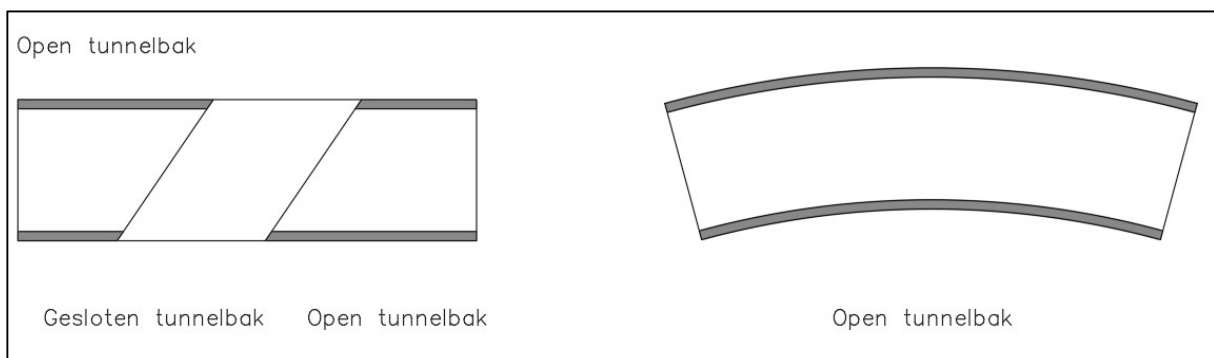
De tool wordt opgebouwd aan de hand van een door Wagemaker beschikbaar gestelde voorbeeldberekening. Deze voorbeeldberekening betreft een semiautomatische handberekening van een vergelijkbaar project, welke door Wagemaker in een eerder stadium is uitgevoerd.

De tool heeft betrekking op een open tunnelbak. Het gesloten gedeelte van de tunnelbak wordt buiten beschouwing gelaten. In de ontwerptool worden de kosten van de open tunnelbak ook buiten beschouwing gelaten. De kosten zullen voor een groot gedeelte ook samenhangen met de uitvoeringsmethode. Dit is iets waar in een ontwerpproces veelal geen controle over is. Wel wordt de tool opgesteld voor een in-situ uitvoeringsmethode. Het in-situ beton zal gewapend beton zijn, met een reguliere betonsterkteklasse (C15/20 t/m C55/67). (Cement&BetonCentrum, 2016)

Uit het literatuuronderzoek zal blijken dat er verschillende typen wanden mogelijk zijn. Aangezien een afwijkende helling in de wanden maar een kleine wijziging in de formules aanbrengt, is er gekozen om de verschillende wanden op te nemen in de tool. Dit houdt in dat verschillende geometrische aspecten meegenomen worden. Gebogen wanden worden buiten beschouwing gelaten. Na voltooiing van het onderzoek naar de verschillende typen wanden wordt er aan de tool begonnen. Hierin worden de wapening, krachtsverdeling en dimensies meegenomen.

De fundatie wordt beschouwd als een fundatie op staal. Een fundatie op palen wordt in eerste instantie buiten beschouwing gelaten. Er hoeft geen rekening gehouden te worden met een ongelijkmatige zetting over de lengte van de constructie. Dit om de doelstelling haalbaar en realistisch te houden.

Een asymmetrisch verloop (figuur 2, rechts) van het bovenaanzicht wordt buiten beschouwing gelaten. Hiermee wordt een bocht in tunnelbak bedoeld. Deze bocht heeft geen invloed op de doorsnede en bijbehorende berekeningen. Ook een scheve kruising (figuur 2, links) wordt niet beschouwd.



Figuur 2: Schematische weergave scheve kruising en asymmetrisch verloop (bovenaanzicht)

5. Kwaliteit

De kwaliteit van het afstudeeronderzoek moet tijdens de gehele afstudeerperiode gewaarborgd blijven. Als eerste wordt er kritisch gekeken naar het product. Ook wordt er naar het proces gekeken.

5.1. Product

De kwaliteit van het rapport wordt gewaarborgd door interne en externe controle. Deze controle wordt uitgevoerd op elk hoofdstuk van de rapportage. De interne controle wordt voornamelijk gedaan door kritische zelfcontrole, waarna een kruiscontrole plaatsvindt. Dit betekent dat er eerst kritisch naar eigen werk gekeken wordt, waarna de afstudeerpartner een controle uitvoert. Hierdoor worden er een groot aantal fouten geëlimineerd.

Naast de interne controle wordt elk onderdeel gecontroleerd en vrijgegeven door de afstudeerbegeleiders. Tevens worden er programma's gebruikt, welke bekend zijn bij het afstudeerbedrijf. Ook wordt er gebruik gemaakt van de aanwezige normen.

5.2. Proces

Als tweede dient het proces kritisch geanalyseerd te worden. De eerste stap van het proces is het Plan van Aanpak. De opdracht wordt duidelijk in beeld gebracht, door middel van duidelijke projectresultaten, projectactiviteiten en projectgrenzen. Hierdoor wordt er gestart met gericht onderzoek.

Door middel van een goede planning wordt het proces bewaakt. Hoe uitgebreider en nauwkeuriger de planning is aan het begin van de afstudeerperiode, hoe eenvoudiger het proces bewaakt wordt. Hierdoor kan er dagelijks bekeken worden in hoeverre de planning gehaald wordt. Door een standslijn toe te voegen aan de planning wordt dit proces verbeterd.

Ook wordt het proces beheerst door minimaal eenmaal per week samen te komen met de bedrijfsbegeleiders. Door deze wekelijkse vergadering wordt de kwaliteit bewaakt. Ook wordt er hierdoor tijdig gecorrigeerd, mocht er een fout gemaakt worden. Er treedt dan geen grote stagnatie op.

Als laatste wordt er eens in de twee weken een afstudeeratelier georganiseerd door Avans Hogeschool. Tijdens deze ateliers wordt de voortgang van het afstuderen besproken met medestudenten en de afstudeerbegeleider. Ook ondersteunen de medestudenten elkaar in het proces. Er is ruimte om eventuele oplossingen aan te dragen, voor problemen waar tegenaan gelopen wordt.

6. Planning

Zoals in hoofdstuk 6 beschreven staat, is een goede planning essentieel om de kwaliteit van het onderzoek te waarborgen. In “Bijlage A1: Planning”, zijn alle aspecten welke in het onderzoek de revue passeren weergegeven.

Er is te concluderen vanuit de planning dat er in totaal 73 effectieve werkdagen zijn om aan het afstudeeronderzoek te werken. 61 Dagen tot het inleveren van het conceptrapport en daarna nog 12 dagen tot het inleveren van het definitieve rapport. Daarnaast zijn er nog 6 dagen gerekend voor het opstellen van de eindpresentatie en het voorbereiden op het verdedigen. Daarmee komt de totale doorlooptijd van het afstudeeronderzoek op 79 dagen.

7. Wagemaker als organisatie

Wagemaker werd in 1981 opgericht door J.P.C. (Jan) Wagemaker. Het bedrijf werkte in eerste instantie als 'Adviesbureau voor tijdelijke bouwconstructies'. Doordat het bedrijf gespecialiseerd was in het ontwerpen van hulpconstructies, kon het in korte tijd groeien. Na een jaar kwam Jan Wagemaker in contact met de toenmalige Bouwdienst van Rijkswaterstaat. Door dit contact werd er in 1990 gestart met een afdeling 'Directievoering en toezicht'.

Het bedrijf groeide in de jaren '90 uit van 20 naar 50 medewerkers. Ondanks de groei bleef de uitdagende, prettige werkomgeving gewaarborgd.

In de loop der jaren is Wagemaker uitgegroeid tot een adviesbureau welke vooroploopt in kwaliteit en innovatie. Het bedrijf is opgesplitst in een viertal vakgroepen, namelijk Constructief Ontwerp, Virtual Design (BIM), Contractvoorbereiding en Proces en Contractbeheersing. (Wagemaker, 2016)

Het constructieve ontwerpteam voert vooral werkzaamheden uit, welke zijn gericht op het ontwerp van betonnen kunstwerken, zoals viaducten, bruggen en onderdoorgangen. Binnen dit ontwerpteam zijn diverse specialisaties aanwezig. (Wagemaker, 2018)

- Constructeurs
- Modelleurs
- Tekenaars
- Ontwerpleiding

Dit ontwerpteam kan overweg met materialen en constructies in zowel beton, staal en hout. Samen met het streven naar kwaliteit en innovatie zorgt dit voor een optimale balans om opdrachten uit te kunnen voeren.

Omdat de constructies, en de ervaring die daarbij hoort, uiteenlopen van complexe viaducten tot onderdoorgangen en sluizen, is Wagemaker voor ons hét bedrijf waar je terecht kan voor een afstudeerplek met een constructieve en innovatieve invulling. Onze keuze voor Wagemaker was, mede door wat Wagemaker is en nastreeft, snel gemaakt.

8. Projectorganisatie

In het hoofdstuk projectorganisatie wordt de organisatie uiteengezet. De projectorganisatie bestaat uit ons, de afstudeerders, en de begeleiders, afkomstig van Wagemaker en Avans Hogeschool.

8.1. De afstudeerders

Het afstudeeronderzoek "Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten" wordt uitgevoerd door Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek. Beide studenten studeren aan Avans Hogeschool en volgen daar de opleiding Civiele Techniek met afstudeerrichting Constructief Ontwerp. Beide hebben afgelopen half jaar de minor Constructief Ontwerp gevolgd.



Jeroen Heijkoop heeft zijn eerste stage doorlopen bij de uitvoerder Hakkers als assistent uitvoerder. Hij heeft gewerkt aan projecten, zoals LNG Terminal en SIF Diepzeekade op de Maasvlakte. Zijn beroepsspecifieke stage heeft hij doorlopen als junior constructeur bij Ingenieursbureau M.U.C. Zijn werkzaamheden daar lagen voornamelijk bij het berekenen en tekenen van bouwtechnische constructies, zoals uitbreiding aan de kleedkamers van voetbalclub Kozakken Boys te Werkendam.



Rick Wijnbeek heeft zijn eerste stage als assistent uitvoerder gewerkt bij BAM Wegen West Rayon 3. Hij heeft gewerkt aan projecten, zoals Turborotonde N210 te Bergambacht en diverse asfaltonderhoud projecten. Zijn tweede stage heeft hij gelopen bij het ingenieursbureau ADCIM. Daar heeft hij gewerkt als tekenaar/werkvoorbereider aan Wegreconstructie Zuidbuurtseweg te Zoeterwoude en Bouwrijp maken Burgemeester Smeetsweg te Zoeterwoude.

8.2. De bedrijfsbegeleiders

Vanuit Wagemaker wordt er begeleiding gegeven door twee ervaren constructeurs. Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals werken allebei al geruime tijd bij Wagemaker en hebben veel ervaring in het berekenen van tunnelbakken. Dit maakt dat zij uitstekende begeleiders zijn.

8.3. De afstudeerbegeleiders

De begeleiding vanuit de Avans Hogeschool wordt gegeven door Michael van Nielen en Jaap van Veldhoven. We zijn door Michael van Nielen begeleidt in het voortraject van het afstuderen.

9. Persoonlijke doelen

Ons persoonlijke doel voor dit afstudeeronderzoek is het leren construeren aan de hand van de normen, secuur te werk gaan met betrekking tot de ontwerptool en de berekeningen. Daarnaast willen we aan de hand van Dublin-competentie 'Toepassen Kennis en Inzicht' onze vergaarde kennis toepassen in het ontwikkelen van de tool. Dit valt samen met Domein specifieke competenties B1 en B2. Deze hebben allemaal betrekking op het opstellen en verantwoorden van een ontwerp en dat is waar deze afstudeeropdracht voornamelijk om gaat. (Academie van Bouw & Infra, 2013)

De beroepscompetenties welke wij tijdens ons afstudeerproject willen ontwikkelen zijn onderstaand beschreven.

De eerste competentie bedraagt het inzichtelijk krijgen van de eisen voor een ontwerp. Hiermee wordt bedoeld dat wij een ontwerp, in dit geval een moot van een open tunnelbak, in zijn geheel leren begrijpen. Door de ontwerptool dient de gehele berekening doorlopen te worden. Hierdoor worden alle aspecten van het ontwerp behandeld. De competentie is tot hbo-afstudeerniveau ontwikkeld, wanneer er binnen 20 weken een volledig werkende ontwerptool wordt opgeleverd.

Onze tweede competentie is het leren verantwoorden van een ontwerp. Deze competentie wordt behaald, wanneer er een volledige rapportage is opgesteld van de ontwerp-tool. Deze rapportage dient een volledige toelichting te geven bij de ontwerp-tool. De competentie is tot hbo-afstudeerniveau ontwikkeld, wanneer er binnen 20 weken een uitgebreide rapportage is opgesteld, waarin alle delen van de ontwerptool toegelicht worden.

De algemene- en persoonlijke competenties worden persoonlijk beschreven. Tevens worden deze doelen SMART beschreven.

Jeroen:

Tijdens dit afstudeeronderzoek wil ik mijn professionele werkhouding verbeteren. Tijdens mijn vorige stages heb ik gemerkt dat ik mijn taal en structuur van rapportages moet verbeteren. Deze doelstelling ga ik tijdens het afstudeertraject opnieuw verbeteren. Dit ga ik doen door mijn rapportages, voordat deze ter verificatie worden aangeboden, volledig en nauwkeurig door te lezen. Hierdoor herstel ik de fouten, voordat rapportages geverifieerd worden. Deze doelstelling wordt behaald, wanneer er binnen de 20 weken van de afstudeerperiode een rapportage wordt ingeleverd waarin niet meer dan drie structuur- of taalfout per pagina staan.

Rick:

Tijdens dit afstudeeronderzoek wil ik mijn bekwaamheid in het probleemgericht werken verbeteren. Tijdens mijn vorige stage heb ik geleerd dat ik prima overweg kan met situaties waarin alles duidelijk is en de opdracht duidelijk uiteengezet is. Tijdens dit afstudeeronderzoek moet er een ontwerptool opgesteld worden. Dit brengt de nodige uitdagingen met zich mee op het gebied van de software en het begrijpen van de materie. Om dit onderzoek zo goed mogelijk uit te voeren moet er probleemgericht gewerkt worden. Binnen 20 weken moet het mogelijk zijn om de problemen/uitdagingen, die het afstudeeronderzoek met zich meebrengt, aan te kunnen pakken en om te vormen tot een correct werkende ontwerptool. Als de tool gereed is kan gesteld worden dat de competentie behaald is.

10. Literatuur

In het hoofdstuk literatuur zal behandeld worden welke bronnen gebruikt zijn.

- Academie van Bouw & Infra. (2013). *Onderwijs- en examenregeling 2013/2014, Bijlage 5 Competenties opleiding Civiele Techniek*. Breda: Avans Hogeschool.
- Cement&BetonCentrum. (2016). *Tabellen en grafieken, Bijlage bij basiskennis beton*. s'Hertogenbosch: Aeneas Media.
- ProRail. (2018, 02 05). Opgehaald van <https://www.eurekacup.nl/wp-content/uploads/2015/11/Opdracht-ProRail.pdf>
- Scribbr. (2018, 03 05). Opgehaald van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/category/onderzoeksmethoden/>
- Wagemaker. (2016). *Welkom bij Wagemaker*. Rosmalen: Wagemaker.
- Wagemaker. (2018, 03 05). *Wagemaker diensten*. Opgehaald van Wagemaker: <http://www.wagemaker.nl/diensten/#co>

11. Bijlage

In dit Plan van Aanpak is de planning als bijlage opgenomen.

Bijlage A2: Planning

ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A2

Planning





Open thea's bij vergadering

- Dinsdag 1 februari 2018: 10.30 uur bijeenkomst alldirecteuren
- Dinsdag 7 februari 2018: 10.30 uur bijeenkomst alldirecteuren
- Maandag 12 februari 2018: 10.30 uur vergadering
- Dinsdag 13 februari 2018: 10.30 uur vergadering
- Donderdag 14 februari 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren
- Vrijdag 15 maart 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren
- Dinsdag 19 maart 2018: 10.30 uur bijeenkomst alldirecteuren
- Dinsdag 27 maart 2018: 10.30 uur bijeenkomst alldirecteuren
- Vrijdag 30 maart 2018: Goede vroege
- Maandag 2 april 2018: 10.30 uur vergadering
- Zaterdag 2 april 2018 10.30 uur meeting, 11 april 2018: 10.30 uur vergadering
- Donderdag 18 april 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren (Dinsdag vergadering)
- Vrijdag 22 april 2018: 10.30 uur vergadering
- Maandag 23 april 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren
- Dinsdag 24 april 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren
- Maandag 29 april 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren
- Donderdag 30 april 2018: 10.30 uur vergadering alldirecteuren



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A3

Logboek afstudeeronderzoek





Logboek afstudeerstage Rick Wijnbeek & Jeroen Heijkoop

		Rick Wijnbeek	Jeroen Heijkoop
Blokweek 1	29-1-2018	Plan van Aanpak	Plan van Aanpak
	30-1-2018	Plan van Aanpak	Plan van Aanpak
	31-1-2018	Vooronderzoek Excel	Vooronderzoek Excel
	1-2-2018	Vooronderzoek Excel	Vooronderzoek Excel
	2-2-2018	Plan van Aanpak	Plan van Aanpak
	3-2-2018		
	4-2-2018		
Blokweek 2	5-2-2018	Vooronderzoek tunnelbakken	Vooronderzoek belastingen
	6-2-2018	Presentatie PvA	Ziek
	7-2-2018	Masterclass afstuderen	Ziek
	8-2-2018	Vooronderzoek ontwerpaspecten	Ziek
	9-2-2018	Hierzien PvA na presentatie	Vooronderzoek software & PvA
	10-2-2018		
	11-2-2018		
Blokweek 2a	12-2-2018	Carnaval	Carnaval
	13-2-2018	Carnaval	Carnaval
	14-2-2018	Overleg, PvA en vooronderzoek	Overleg PvA & Vooronderzoek
	15-2-2018	Vooronderzoek gebruiker	Vooronderzoek software & tunnelbak
	16-2-2018	Vervolgonderzoek waarom een tool	Vervolgonderzoek totale belastingen
	17-2-2018		
	18-2-2018		
Blokweek 3	19-2-2018	Vervolgonderzoek ontwerpeisen	Vervolgonderzoek permanente bel.
	20-2-2018	Vervolgonderzoek ontwerpeisen	Vervolgonderzoek permanente bel.
	21-2-2018	Samenvoegen en controlen vooronderzoek	Samenvoegen en controlen vooronderzoek
	22-2-2018	Opstellen template Excelrapportage	Opstel. controleerbare spreadsh. kruipcoëff.
	23-2-2018	Vervolgonderzoek thermische belasting	Vervolgonderzoek mobiele belasting
	24-2-2018		
	25-2-2018		
Blokweek 4	26-2-2018	Vervolgonderzoek thermische belasting	Vervolgonderzoek mobiele belasting
	27-2-2018	Vervolgonderzoek thermische belasting	Vervolgonderzoek permanente belastingen
	28-2-2018	Vervolgonderzoek opspaneffect	Vervolgonderzoek mechanisch verdichten
	1-3-2018	Afstudeeratier 2 PvA	Afstudeeratier 2 PvA
	2-3-2018	Thermische belasting in word	Permanente belastingen in word
	3-3-2018		
	4-3-2018		
Blokweek 5	5-3-2018	Opspaneffect	Uitbreiding kruip/krimp onderzoek
	6-3-2018	Aanpassen berekeningverslagen	Opstellen stroomschema
	7-3-2018	Aanpassen vooronderzoek	Onderzoek belastingcombinaties
	8-3-2018	Ziek	Onderzoek belastingcombinaties
	9-3-2018	Informatiedag studiereis	Informatiedag studiereis
	10-3-2018		
	11-3-2018		
Blokweek 6	12-3-2018	Ziek	Verbeteren grond,- water- en korreldrukken
	13-3-2018	onderzoek opspaneffect	Verbeteren grond,- water- en korreldrukken
	14-3-2018	Samenvoegen belastingen	Samenvoegen belastingen
	15-3-2018	Afstudeeratier 3 interview	Afstudeeratier 3 interview
	16-3-2018	Samenvoegen belastingen	Samenvoegen belastingen
	17-3-2018		

	18-3-2018		
Blokweek 7	19-3-2018	Samenvoegen belastingen	Uitdrogingskrimp & SCIA Modelling
	20-3-2018	Samenvatting belastingsonderzoek	SCIA Modelling
	21-3-2018	Tekstuele controles uitvoeren	Onderzoek spreiding verkeersbelasting (TS)
	22-3-2018	Tekst. controle + SCIA modellering	SCIA Modelling & onderzoek spreiding verk.
	23-3-2018	SCIA modellering	Doornemen berekeningsmethodiek
	24-3-2018		
	25-3-2018		
Blokweek 8	26-3-2018	SCIA modellering	SCIA modellering en invoer Tool-SCIA
	27-3-2018	Afstudeeratier 4 Duurzaamheid	Afstudeeratier 4 Duurzaamheid
	28-3-2018	Literatuuronderzoek Ecm	Materiaaleigenschappen en betondekking
	29-3-2018	Literatuuronderzoek Ecm + SCIA concl.	Literatuuronderzoek V & M
	30-3-2018	Goede Vrijdag	Goede Vrijdag
	31-3-2018		
	1-4-2018		
Blokweek 9	2-4-2018	2e Paasdag	2e Paasdag
	3-4-2018	Literatuuronderzoek wapening wanden	Literatuuronderzoek V & M
	4-4-2018	Samenstellen totaalverslag	Literatuuronderzoek V & M
	5-4-2018	Samenstellen totaalverslag	Literatuuronderzoek overlap lengte
	6-4-2018	Samenstellen totaalverslag	Literatuuronderzoek scheurwijdte
	7-4-2018	Singapore	Singapore
	8-4-2018	Singapore	Singapore
Blokweek 10	9-4-2018	Singapore	Singapore
	10-4-2018	Singapore	Singapore
	11-4-2018	Singapore	Singapore
	12-4-2018	Singapore	Singapore
	13-4-2018	Singapore	Singapore
	14-4-2018	Singapore	Singapore
	15-4-2018	Singapore	Singapore
Blokweek 1	16-4-2018	Singapore	Singapore
	17-4-2018	Opstellen presentatie tussenpeiling	Herzien verslaglegging (aanpassingen DSc)
	18-4-2018	Afstudeeratier 5 tussenpeiling	Afstudeeratier 5 tussenpeiling
	19-4-2018	Herzien verslag na afstudeeratier	Herzien verslaglegging (aanpassingen DSc)
	20-4-2018	Herzien verslag na afstudeeratier	Sollicitatiegesprekken extern
	21-4-2018		
	22-4-2018		
Blokweek 2	23-4-2018	SCIA toevoegen modellering langsrichting	Herzien verslagleggingen (aanpassingen JHa)
	24-4-2018	literatuuronderzoek	Wapeningsberekening vloer (hoofdwapening)
	25-4-2018	Voorbeeldberekening onderzoeken	Wapeningsberekening vloer (hoofdwapening)
	26-4-2018	Voorbeeldberekening onderzoeken	Wapeningsberekening vloer (dwarskracht)
	27-4-2018	Koningsdag	Koningsdag
	28-4-2018		
	29-4-2018		
Blokweek 3	30-4-2018	Wapeningsberekening wand verticaal	Invullen tool DSc
	1-5-2018	Wapeningsberekening wand verticaal	Wap. Excel vloer (hoofdwapening)
	2-5-2018	Wapeningsberekening wand verticaal	Wap. Excel vloer (hoofdwapening) langsricht.
	3-5-2018	Wapeningsberekening wand verticaal	Wapeningsberekening vloer verslaglegging
	4-5-2018	Gesprek externe expert	Gesprek externe expert
	5-5-2018		
	6-5-2018		

Blokweek 3a	7-5-2018	Herstel verslag na feedback begeleiders	Beschouwen opdrijving
	8-5-2018	Wapeningsberekening wand horizontaal	Afronden wapeningsberekening rapportage
	9-5-2018	Afstudeeratelier 6 excursie	Afstudeeratelier 6 excursie
	10-5-2018	Hemelvaart	Hemelvaart
	11-5-2018	Vrijdag na hemelvaart (kantoor dicht)	Vrijdag na hemelvaart (kantoor dicht)
	12-5-2018		
	13-5-2018		
Blokweek 4	14-5-2018	Wapeningsberekening wand horizontaal	Verwerken feedback rapportage/tool
	15-5-2018	Herzien verslag na feedback begeleiders	Wapeningsresumé
	16-5-2018	Optimaliseren tool	Verwerken feedback rapportage/tool
	17-5-2018	Optimaliseren tool	Optimaliseren tool
	18-5-2018	Opstellen concept rapport	Optimaliseren tool
	19-5-2018		
	20-5-2018		
Blokweek 5	21-5-2018	2e Pinksterdag	2e Pinksterdag
	22-5-2018	Opstellen concept rapport	Wapeningsresumé en kg wapeningsstaal
	23-5-2018	Opstellen concept rapport	Optimaliseren tool
	24-5-2018	Optimaliseren tool	Optimaliseren tool
	25-5-2018	Optimaliseren tool	Wapeningsresumé en kg wapeningsstaal
	26-5-2018		
	27-5-2018		
Blokweek 6	28-5-2018	Opstellen definitief rapport	Handberekening BG korreldruk - permanent
	29-5-2018	Opstellen collages	Handberekening BG korreldruk - permanent
	30-5-2018	Groen-rood peiling	Groen-rood peiling
	31-5-2018	Opstellen conclusies en samenvatting	Optimalisatieonderzoek vloerdikte
	1-6-2018	Opstellen conclusies en samenvatting	Optimalisatieonderzoek vloerdikte
	2-6-2018		
	3-6-2018		
Blokweek 7	4-6-2018	Aanpassen gehele verslaglegging	Optimalisatieonderzoek wanddikte
	5-6-2018	Aanpassen gehele verslaglegging	Optimalisatieonderzoek wanddikte
	6-6-2018	Aanpassen gehele verslaglegging	Optimalisatieonderzoek betonsterkteklasse
	7-6-2018	Doornemen gehele verslaglegging	Doornemen gehele verslaglegging
	8-6-2018	Aanpassen gehele verslaglegging	Aanpassen gehele verslaglegging
	9-6-2018		
	10-6-2018		
Blokweek 8	11-6-2018	Reflectieverslag	Reflectieverslag
	12-6-2018	Verslaglegging aanpassen	Verslaglegging aanpassen
	13-6-2018	Eindpresentatie	Eindpresentatie
	14-6-2018	Inleveren	Inleveren
	15-6-2018		
	16-6-2018		
	17-6-2018		
Blokweek 9	18-6-2018		
	19-6-2018		
	20-6-2018		
	21-6-2018		
	22-6-2018		
	23-6-2018		
	24-6-2018		
	25-6-2018		

Blokweek 10	26-6-2018		
	27-6-2018		
	28-6-2018		
	29-6-2018		
	30-6-2018		
	1-7-2018		

ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A4

Enquête tool tunnelbak





Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie: *Dennis Schoenmakers* *Constructeur II*

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

- *SCIA Engineer*
- *ALP*
- *Excel*
- *Word*
- *DBel*

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

DIANA FEA (gebruiken we zelden)

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

ja

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

Belastingen & combinaties *Momentverdelingslijn*
Rekendocument SCIA Engineer
WAPENINGSBEREKENINGEN

Voorkeur: *SCIA/Technosoft/anders*
Excel/Mathcad/anders

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie:

JEFFREY HAVERHALS

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

SCIA, DBET, EXCEL, ALP

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

IDEA CONNECTION

EXTRA MODULES SCIA :
• STAAL VERBINDINGEN
• PARAMETRISCH MODELLEREN
• DYNAMICA

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

JA, COMPLETE PARAMETRISCHE BEREKENING INCL.
RAPPORTAGE

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

INVOER VAN DE CONSTRUCTIE T/M DE DOORSNEDEN-
TOETSINGEN

Voorkeur:

SCIA/Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie:

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

Scia Engineer, Excel

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

Geen

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

Ja

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

Duidelijk overzicht van invoer/uitgangspunten.
Krachtverdeling (M-lijn, V-lijn, N-lijn) + oplegreacties
oplegdruk.

Voorkeur: SCIA/Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie: Daniël Castrop Tekenaar/constructeur.

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

SCIA Engineer, Excel, DBet.

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

/

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

JA, scheelt een hoop tijd. Echter wel handig wanneer nog "handmatig" bewerkt of uitgebreid kan worden

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

- Constructie afmetingen - belastingen.
- toetsingen
- wapening (eventueel met diverse opties/optimalisaties)

Voorkeur: SCIA/Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie:

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

SCIA en Excel

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

—

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

Niet per se. Als een zo'n tool is waarmee je kunt ontwerpen, is dat al heel mooi

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

- opdragen in relatie tot afmetingen en doorrijhoogte

Voorkeur: SCIA/Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders —

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie: **Wim Vos CONSTRUCTEUR**

Vraag 1: Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

**• SCIA ENGINEER
• EXCEL
• DBET-FCZ**

Vraag 2: Welke software zou u graag gebruiken buiten de binnen Wagemaker gehanteerde software?

Vraag 3: Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

**DESTE
JA → ~~MEER~~ MEER IN GEVULDE DESTE BETER.
↳ MITS ZELF NOG AANPASBAAR, IN WORD.**

Vraag 4: Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

**- OPTIMALE VLOERDIKTE/WANDDIKTE (CONSTRUCTIE AFMETINGEN)
- WAPENING CONFIGURATIE + TOETSEL v/d WAPENING
- TYPE FUNDERING (STAAL/PALEN) → TEKENING**

Voorkeur: **SCIA/Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders**

**- BELASTINGEN
- COMBINATIES**

**→ WEL OF GEEN OPDRIFT VOORZIE
INGEL NODIG.**

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop

Enquête parametriseren open tunnelbak

Beste lezer,

Wij zijn Jeroen Heijkoop en Rick Wijnbeek en studeren af bij Wagemaker. We onderzoeken de mogelijkheden om de berekening van een open tunnelbak te parametriseren en te verwerken in een ontwerptool. Dit in samenwerking met Dennis Schoenmakers en Jeffrey Haverhals.

Graag willen wij uw mening/voorkeur meenemen in het onderzoek. Wij hebben enkele vragen voor u opgesteld.

Naam en functie:

lex Hendriks Constructeur

Vraag 1:

Wat is de gangbare software die u hanteert tijdens het uitvoeren van de berekeningen? U moet denken aan SCIA Engineer, Technosoft, Mathcad, Excel, etc.

*SCIA Engineer 16.1 ; DBET EC2 V14.10; Alp 2000
IDEA STATICA 8 ; Excel ; D-sheet ;*

Vraag 2:

Welke software zou u graag gebruiken buiten, de binnen Wagemaker gehanteerde software?

DIANA

Vraag 3:

Heeft het de voorkeur om de tool in de vorm van een berekeningsrapportage uit te werken?

Ja, mits dit nog wel aanpasbaar is.

Vraag 4:

Welke ontwerp- en berekeningsaspecten/resultaten verwacht u op zijn minst terug te zien in de tool?

*Aanpassen van hoogte, breedte, aantal
rijstroken, dichte constructie onderdelen
waterstanden. → Kortom:*

Voorkeur:

SCIA Technosoft/anders
Excel/Mathcad/anders

*Geometrie
Belastingen
Resultaten (snede-
krachten
wapening*

Hartelijk dank voor uw medewerking!

Met vriendelijke groet,

Rick Wijnbeek en Jeroen Heijkoop



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A5

Interview externe expert





ABT B.V. Ingenieursbureau Delft – Chris van der Ploeg

Datum: 04 mei 2018
Locatie: ABT B.V. Ingenieursbureau Delft – Vergaderzaal Oranje
Aanwezigen: Chris van der Ploeg – ABT
Jeroen Heijkoop – Wagemaker
Rick Wijnbeek – Wagemaker
Onderwerp: Maatschappelijke relevantie parametriseren



Paraaf goedkeuring Chris van der Ploeg

Maatschappelijke relevantie parametriseren

Om de visie op parametriseren te verbreden is er besloten om met een externe expert te converseren. Er werd intern aanbevolen om met Chris van der Ploeg, van ABT B.V. Ingenieursbureau Delft, te gaan praten. Daar hij al geruime tijd werkt aan het opstellen van parametrisaties voor berekeningen én geregeld spreker is op conferenties over parametriseren, was het zeer leerzaam om met hem gesproken te hebben. Het rapport wat nu volgt is een resultaat van het interview tussen beide partijen en de presentatie die Chris van der Ploeg gaf.

Parametriseren

Voordat men gaat beginnen met parametriseren, moet men zich afvragen waarom je zou willen parametriseren. De conventionele berekeningsmethodes duren mogelijk lang, maar maken gebruik van bewezen technieken en methodes. Daarbij is bij sommige constructeurs de angst aanwezig voor het onbekende en is er een andere mindset nodig om de controle gedeeltelijk los te laten en door een automatisatie uit te laten voeren.

Waarom parametriseren:

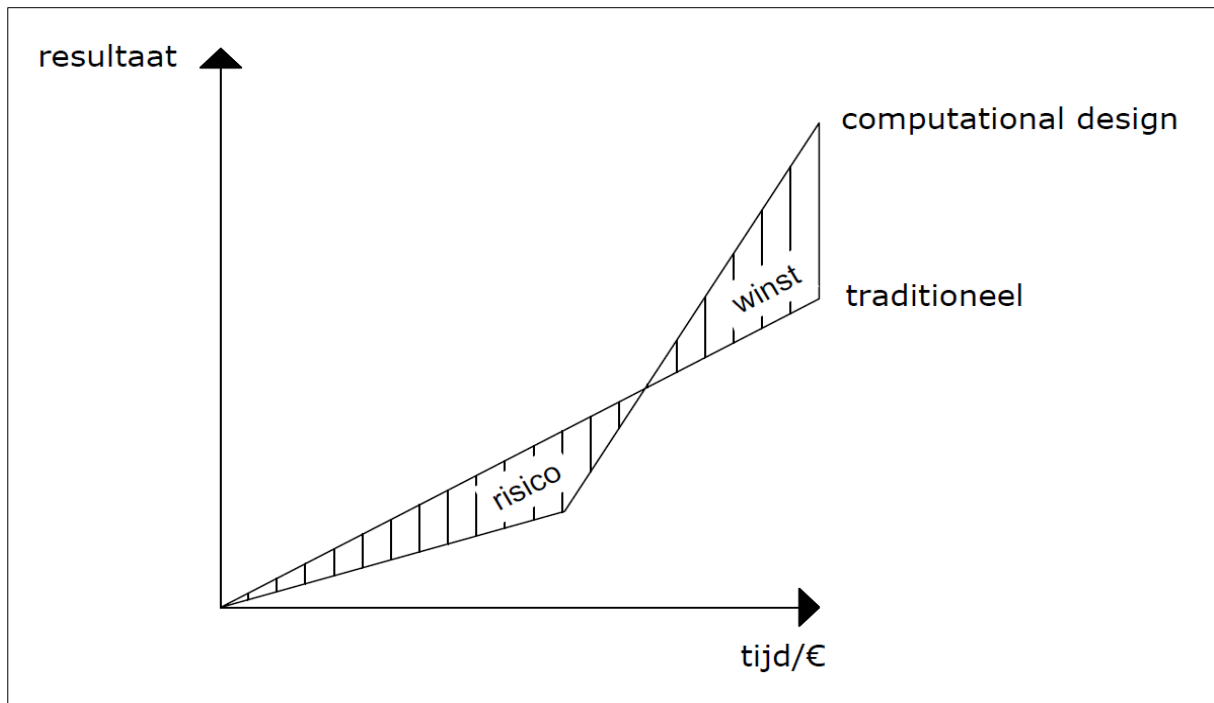
- Ontwerpvariatie;
- Inspelen op verandering;
- Generatief ontwerp;
- Simuleren voor inzicht;
- Leren van variatie door simulatie.

Al deze voordelen dragen bij aan een verbetering van de huidige methodes. Ook is het mogelijk om efficiëntie en inzicht toe te voegen, waarin complexe landschappen en het zoeken naar een optimum aan bod komen. Als volgorde van het proces kan genoemd worden: Think – Make rules – Codes – Enter. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de 80/20 regel. 80% van de regels worden van tevoren vastgesteld. De overige 20% volgt tijdens de toepassing. Deze van tevoren vastgestelde regels (80%) worden relatief snel in het parametrisch model ingebouwd, er wordt gesteld dat deze regels ongeveer 20% van de tijd kost. De overige tijd wordt besteed aan de onbekende 20% van de regels.

Hierbij wordt van tevoren geanticipeerd op eventuele wijzigingen. Wel is het in het belang van een project om duidelijke randvoorwaarden te hanteren. Dit om enige afbakening in het proces te hebben. Met andere woorden: de spelregels opstellen. Tekeningen – Informatie – Regels (logica) =parametriseren. Men begint altijd met het opstellen van de spelregels om inzicht te krijgen in de hoeveelheid van de werkzaamheden.

Met de technieken van tegenwoordig, zoals VR, is het zelfs mogelijk om een architect of opdrachtgever consequenties en resultaten te laten zien van hun beslissingen. Of er kunnen life aanpassingen gemaakt worden voor de ogen van een architect, zodat hij direct het resultaat kan zien en er geen maquette voor nodig is. Hierdoor krijgt de architect direct gevoel bij zijn keuzes.

Al deze aspecten van parametriseren zijn samen te vatten onder de term computational design. Computational design betekend letterlijk het vormgeven met behulp van rekenkracht van computer en scripting (Wikipedia, 2018). In figuur 1 is het principe van computational design weergegeven.



Figuur 1: Computational design versus traditioneel

Het opstellen van het model kost tijd en levert in beginsel weinig op. Na verloop van tijd is er het omslagpunt waarna men winst gaat maken. Deze winst is niet altijd in geld uit te drukken maar vaker in kwaliteit.

Relevantie/belang voor de wereld

Buiten het feit dat een parametrisatie een efficiënte manier is om een berekening uit te voeren, levert het ook inzicht om kwaliteit te leveren. Door variatie en optimalisatie in het proces op te nemen gaat de berekening niet per se sneller, want er kunnen meer varianten toegepast worden (en uiteindelijk ook gevraagd), maar uiteindelijk zou je daarmee kwaliteit kunnen winnen.

De parametrische denkwijze kan ook noodzakelijk zijn voor een productie proces, waarin veel elementen volgens dezelfde regels worden gerealiseerd. Denk hierbij aan het gebruik van een snijtafel. Doordat het ontwerp in een parametrisch model gemaakt is, kunnen de coördinaten van het element eenvoudig overgenomen worden door de machine en wordt deze machine aangestuurd door het parametrische model.

Een parametrisch model en de stappen die daartoe leiden kunnen alleen goed uitgevoerd worden. Gebeurt dit niet, of ontbreken er stappen, dan werkt het model niet. Parametrisch ontwerp vereist een logisch, van tevoren opgesteld, stappenplan. Deze denkwijze ("computational thinking") kan een meerwaarde zijn voor handmatige berekening.

Voor de buitenwereld, met daarin onder anderen opdrachtgevers, is kwaliteit van wezenlijk belang. Ook de schaalbaarheid (toepasbaarheid) op andere projecten heeft zijn voordelen. Een bevestiging van de keuzes welke gemaakt worden, geven onder andere zekerheid, veiligheid en risicobeheersing mee aan de parametrisatie.



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage A6

Taakverdeling





Inhoud

VOORWOORD (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
SAMENVATTING (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
ABSTRACT (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
1. INLEIDING (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2. ONDERZOEKSACHTERGROND (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.1 AANLEIDING.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.2 PROBLEEMSTELLING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.3 DOELSTELLING.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.4 ONDERZOEKSVRAGEN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.5 ONDERZOEKSMETHODES	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.6 AFWIJKINGEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
2.7 LEESWIJZER.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
DEEL I - VOORONDERZOEK	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.1. WAAROM EEN ONTWERPTOOL? (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.1.1 PROCESVERBETERING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.1.2 DUURZAAMHEID	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.1.3 NADELEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.1.4 INTERVIEW EXTERNE EXPERT	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.2. SOFTWAREONDERZOEK (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.2.1 SPREADSHEET	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.2.2 REKENPROGRAMMA	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.2.3 AFBAKENING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.2.4 LINK TUSSEN PROGRAMMATUUR	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3. VARIANTENSTUDIE TUNNELBAKKEN (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.1 STANDAARD TUNNELBAK.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.2 VERJONGING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.3 TAPS TOELOPENDE WANDEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.4 SCHUINE WANDEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.5 VLOER MET OREN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.6 VERKANTING VLOER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.3.7 ASYMMETRISCHE DOORSNEDE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4. BEOOGDE GEBRUIKERS (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4.1 SPOORWEGVERKEER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4.2 AUTOVERKEER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4.3 FIETSVRKEER.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4.4 VOETGANGERS.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.4.5 ALGEMENE ASPECTEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5. ONTWERPASPECTEN TUNNELBAK (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5.1 KARAKTERISTIEKEN VOERTUIG/WEGGEBRUIKER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

I.5.2	SPOORWEGVERKEER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5.3	AUTOVERKEER	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5.4	FIETSVERKEER.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5.5	VOETGANGERS.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.5.6	OVERIGE ONTWERPEISEN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
I.6.	CONCLUSIE VOORONDERZOEK (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
DEEL II - BELASTINGSONDERZOEK		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.1.	STROOMSCHEMA (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.2.	DE ONTWERPTOOL (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.2.1	BEREKENINGSRAPPORTAGE TOT DE KOPPELING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.2.2	KOPPELING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.2.3	BEREKENINGSRAPPORTAGE NA DE KOPPELING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.3.	CASUS (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.3.1	CONSTRUCTIEVE PARAMETERS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.3.2	MATERIAALGEGEVENS.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.4.	BELASTINGEN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.4.1	INVOERGEGEVENS (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.4.2	PERMANENTE BELASTING (JEROEN).....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.4.3	VARIABELE BELASTING (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.4.4	BELASTINGCOMBINATIES (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.5.	SCIA ENGINEER MODELLERING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.5.1	MODEL DWARSRICHTING MET EXCENTRICITEIT (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.5.2	MODEL DWARSRICHTING MET CENTRISCHE STAAFVERDELING (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.5.3	MODEL DWARSRICHTING MET CENTRISCHE EN PARTIËLE STAAFVERDELING (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.5.4	MODEL LANGSRICHTING (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
II.6.	CONCLUSIE BELASTINGSONDERZOEK (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
DEEL III - BEREKENINGSONDERZOEK		FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.	WAPENINGSBEREKENING CONSTRUCTIEVLOER (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.1	HOOFDWAPENING – ULS – BUIGEND MOMENT EN NORMAALKRACHT	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.2	HOOFDWAPENING – SLS – SCHEURVORMING EN DOORBUIGING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.3	HOOFDWAPENING - DETAILLERINGSREGELS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.4	DWASKRACHTWAPENING – ULS – DWASKRACHT EN NORMAALKRACHT	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.1.5	DWASKRACHTWAPENING - DETAILLERINGSREGELS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.	WAPENINGSBEREKENING WANDEN (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.

III.2.1	HOOFDWAPENING – ULS – BUIGEND MOMENT	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.2	HOOFDWAPENING – SLS – SCHEURVORMING EN DOORBUIGING.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.3	HOOFDWAPENING – HORIZONTALE RICHTING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.4	HOOFDWAPENING - DETAILLERINGSREGELS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.5	DWASKRACHTWAPENING – ULS – DWASKRACHT	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.2.6	DWASKRACHTWAPENING – DETAILLERINGSREGELS	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.3.	OPDRIJVING (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.3.1	AANDRIJVENDE BELASTING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.3.2	RUSTENDE BELASTING	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.3.3	BELASTING FACTOREN	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
III.4.	CONCLUSIE BEREKENINGSONDERZOEK (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
DEEL IV –	OPTIMALISATIEONDERZOEK (JEROEN)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
IV.1.	CONSTRUCTIEVLOERDIKTE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
IV.2.	WANDDIKTE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
IV.3.	BETONSTERKTEKLASSE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
3.	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN TOTAALONDERZOEK (RICK)	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
3.1	CONCLUSIE	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
3.2	AANBEVELINGEN.....	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
4.	LITERATUUR	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
5.	BIJLAGENLIJST	FOUT! BLADWIJZER NIET GEDEFINIEERD.
	BIJLAGE A1 – PLAN VAN AANPAK	
	BIJLAGE A2 – PLANNING.....	
	BIJLAGE A3 – LOGBOEK AFSTUDEERONDERZOEK	
	BIJLAGE A4 – ENQUÊTE TOOL TUNNELBAK.....	
	BIJLAGE A5 – INTERVIEW EXTERNE EXPERT.....	
	BIJLAGE A6 - TAAKVERDELING	
	BIJLAGE B1 – BELASTINGSONDERZOEK.....	
	BIJLAGE B2 – CONTROLE EIGEN GEWICHT.....	
	BIJLAGE C1 – ONDERZOEK SPREIDING VEERKEERBELASTING	
	BIJLAGE C2 – ONDERZOEK SPREIDING VEERKEERBELASTING – UITVOER SCIA ENGINEER	
	BIJLAGE D – MATERIAALEIGENSCHAPPEN	
	BIJLAGE E – BEREKENINGSONDERZOEK	
	BIJLAGE F1 – BEREKENINGSRAPPORTAGE	
	BIJLAGE F2 – SCIA ENGINEER BEREKENINGSRAPPORTAGE	
	BIJLAGE F3 – HANDBEREKENING 1 BELASTINGSGEVAL.....	
	BIJLAGE G – OPTIMALISATIE VLOER	



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage B1

Belastingsonderzoek





Inhoudsopgave

1 Invoergegevens

- 1.1 Geometrie
- 1.2 Geotechnische gegevens
- 1.3 Constructieve gegevens
- 1.4 Materiaalgegevens
- 1.5 Betondekking
- 1.6 Rustende belasting
- 1.7 Verkeersgegevens

2 Permanente belasting

- 2.1 Eigen gewicht
- 2.2 Rustende belasting
- 2.3 Grond-, water- en korrelspanning
- 2.4 Grondmassief op oor
- 2.5 Krimp- en kruipbelasting

3 Variabele belasting

- 3.1 Mobiele belasting op rijweg - LM1
- 3.2 Enkele aslast - LM2
- 3.3 Bijzondere voertuigen - LM3
- 3.4 Mensenmenigte - LM4
- 3.5 Rembelasting door wegverkeer
- 3.6 Thermische belasting
- 3.7 Bovenbelasting op maaiveldniveau
- 3.8 Opspaneffect
- 3.9 Mechanische verdichten
- 3.10 Sneeuwbelasting

4 Grendstoestanden en belastingcombinaties

- 4.1 Uiterste Grenstoestanden
- 4.2 Bruikbaarheidsgrenstoestand
- 4.3 Belastingfactoren
- 4.4 Combinatiefactoren
- 4.5 Resumerend overzicht (belastingcombinatiesleutel)

5 Wapening vloerconstructie

- 5.1 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)
- 5.2 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld)
- 5.3 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)
- 5.4 Wapening in vloer - Onderzijde (veld) - Lengterichting
- 5.5 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld) - Lengterichting
- 5.6 Dwarskracht in de vloer

6 Wapening wandconstructie

- 6.1 Wapening in wand - Grondzijde dikke wand - Verticale wapening
- 6.2 Wapening in wand - Zichtzijde dikke wand
- 6.3 Wapening in wand - Grondzijde dunne wand - Verticale wapening
- 6.4 Wapening in wand - Zichtzijde dunne wand
- 6.5 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dikke wand - Horizontale wapening
- 6.6 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dunne wand - Horizontale wapening
- 6.7 Dwarskracht in de wand - Dikke wand
- 6.8 Dwarskracht in de wand - Dunne wand

7 Opdrijven

8 Wapeningsresume

1 Invoergegevens

In dit hoofdstuk worden de verschillende parameters benoemd. In dit hoofdstuk is het mogelijk om de geometrie van de tunnelbak in te voeren, ook worden de geotechnische gegevens en de materiaaleigenschappen benoemd. Met deze gegevens wordt de gehele berekening in de tool uitgevoerd.

1.1 Geometrie

Om te zorgen dat de geometrie alle mogelijkheden afdekt, zijn er twee varianten weergegeven. Er dient een keuze gemaakt te worden tussen deze twee varianten.

Variant A bevat de volgende geometrieën.

- Wanden met verjonging
- Schuine wanden
- Rechte wanden
- Een combinatie van bovenstaande

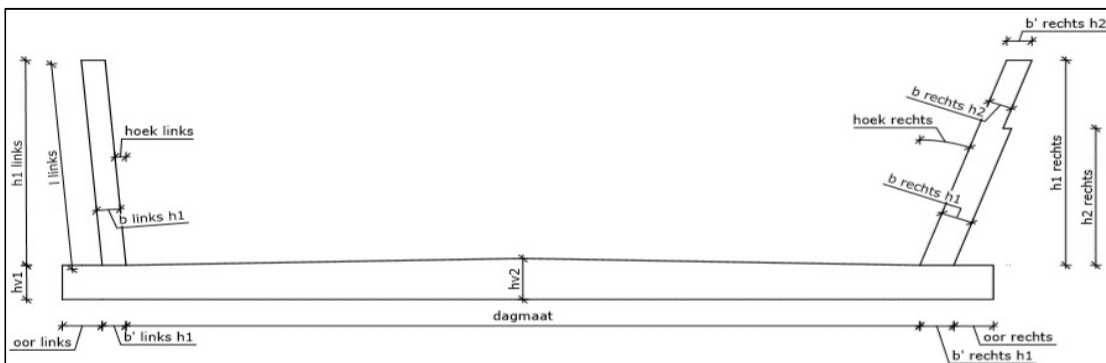
Variant B bevat de volgende geometrieën.

- Taps toelopende wanden
- Rechte wanden
- Een combinatie van bovenstaande

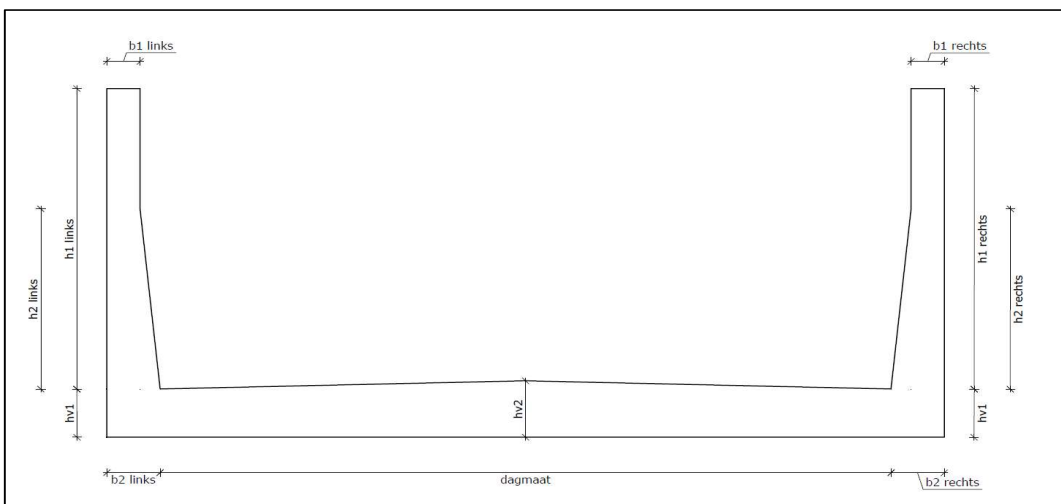
De gebruikte variant dient accuraat gekozen te worden, daar variant B niet voldoet voor gegevens vanuit variant A.

Variant B

Indien variant A gebruik wordt, dienen er bij variant B geen invoerwaardes ingevuld te worden. Als variant B gehanteerd wordt, geldt hetzelfde voor variant A.



Variant A

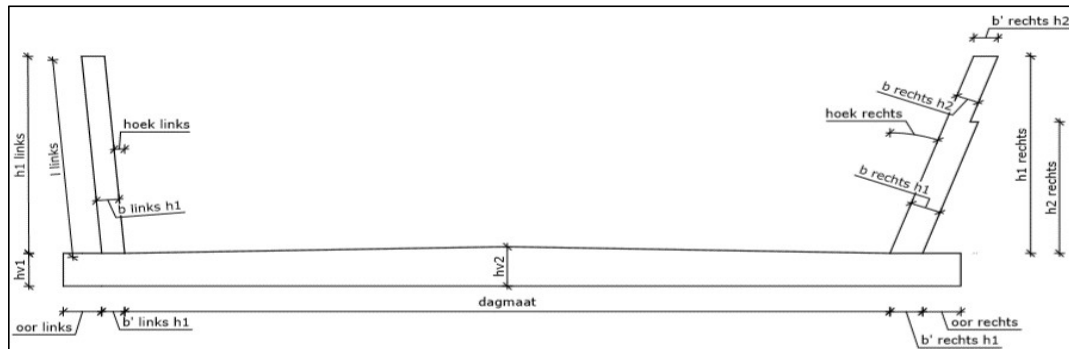


Variant B

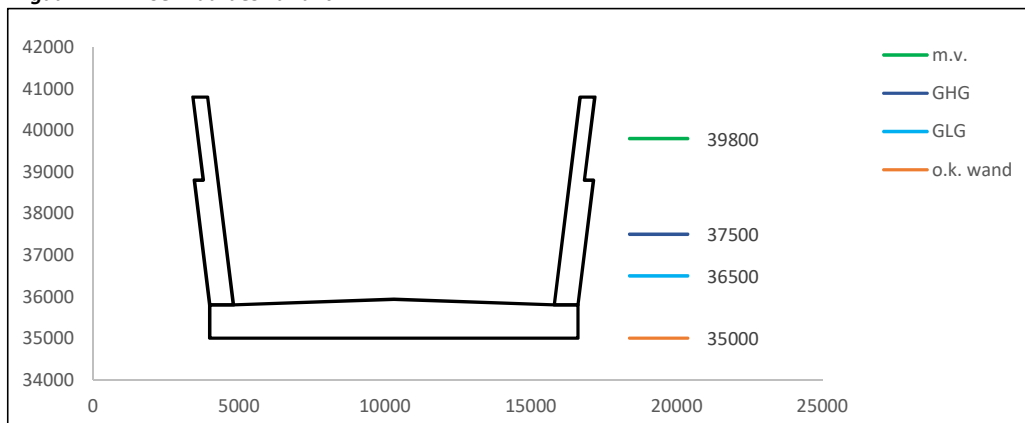
Geometrie tunnelbak (Variant A)

Als eerste wordt de geometrie van de tunnelbak bepaald. In figuur 1.1 is uitleg gegeven over de in te vullen parameters.

Vloerdikte h_{v1}	800 mm	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen
Vloerdikte h_{v2}	937 mm	
Breedte dagmaat	11000 mm	
Wanddikte b links h_1	800 mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b' links h_1	812 mm	
Wanddikte b links h_2	500 mm	Dikte verjongt gedeelte, zonder verjonging dikte $h_2 =$ dikte h_1
Wanddikte b' links h_2	508 mm	
Wandhoogte h_1 links	5000 mm	
Wandhoogte h_2 links	3000 mm	Zonder verjonging $h_2 = 0$
Wandlengte l links	5077 mm	
Wanddikte b rechts h_1	800 mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b' rechts h_1	812 mm	
Wanddikte b rechts h_2	500 mm	Dikte verjongt gedeelte, zonder verjonging dikte $h_2 =$ dikte h_1
Wanddikte b' rechts h_2	508 mm	
Wandhoogte h_1 rechts	5000 mm	
Wandhoogte h_2 rechts	3000 mm	Zonder verjonging $h_2 = 0$
Wandlengte l rechts	5077 mm	
Buitenmaat totaal vloer	12625 mm	
Oorbreedte links	0 mm	
Oorbreedte rechts	0 mm	
Hoek wand links	10 graden	
Hoek wand rechts	10 graden	
Buitenmaat constructie	14388 mm	
Lengte moot	25 m	
Geleiderail/middenberm	Middenberm	
Geleiderail/stepbarrier	Halve stepbarrier	



Figuur 1.1: Invoerwaardes variant A

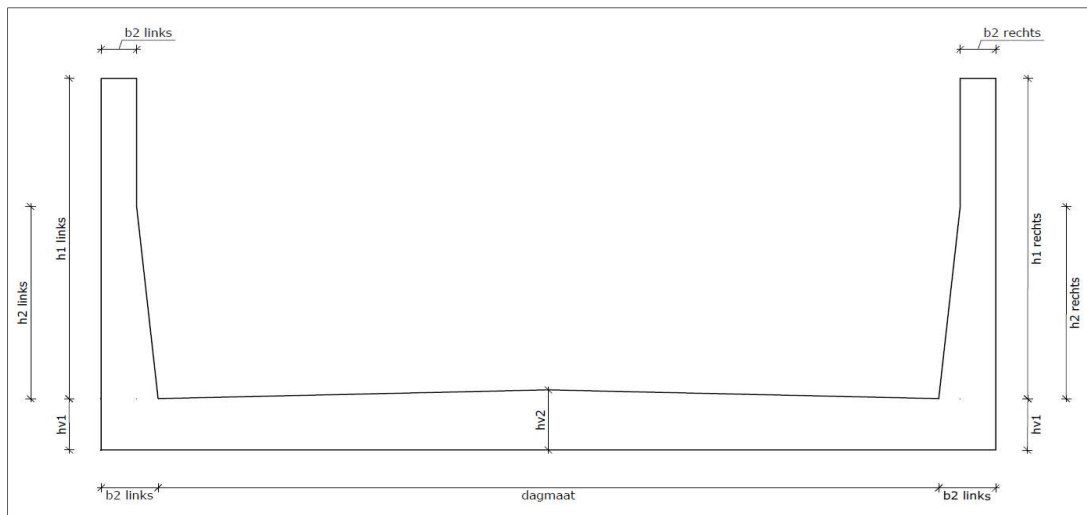


Figuur 1.2: Geometrie tunnelbak variant A

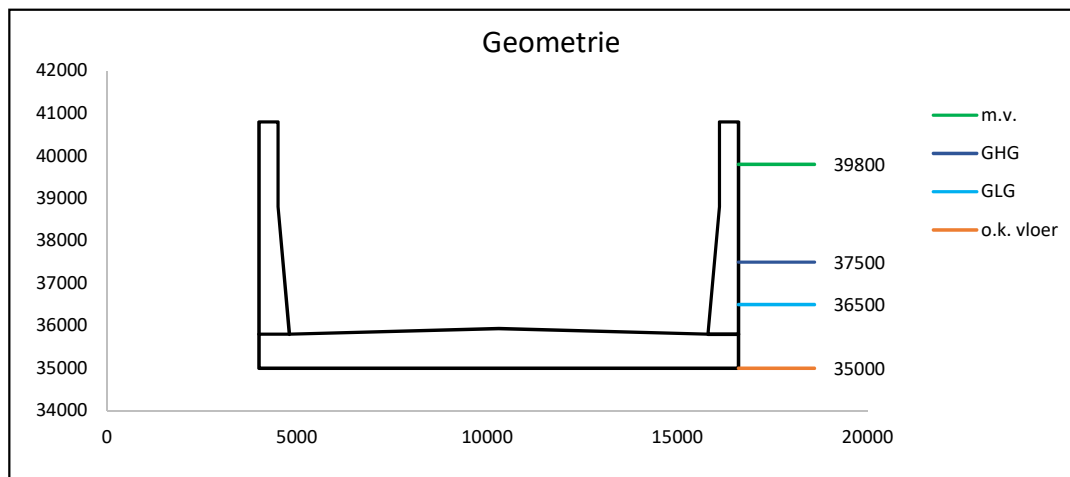
Geometrie tunnelbak (Variant B)

Als eerste wordt de geometrie van de tunnelbak bepaald. In figuur 1.3 is uitleg gegeven over de in te vullen parameters.

Vloerdikte h_{v1}	800	mm	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen
Vloerdikte h_{v2}	937	mm	
Breedte dagmaat	11000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 links	5000	mm	
Wandhoogte h_2 links	3000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 rechts	5000	mm	
Wandhoogte h_2 rechts	3000	mm	
Buitenmaat totaal vloer	12600	mm	
Oorbreedte links	0	mm	
Oorbreedte rechts	0	mm	
Lengte moot	25	m	
Geleiderail/middenberm	Middenberm		
Geleiderail/stepbarrier	Halve stepbarrier		



Figuur 1.3: Invoerwaardes variant B



Figuur 1.4: Geometrie tunnelbak variant B

1.2 Geotechnische gegevens

De geotechnische gegevens worden ingevoerd.

Maaiveld	39,8	m + NAP
GHG	37,5	m + NAP
GLG	36,5	m + NAP
o.k. vloer	35	m + NAP

De grondsoort in het beschouwde gebied.

Grondsoort:	Zand	
γ_{dry}	18	kN/m ³
γ_{sat}	20	kN/m ³
γ_{water}	10	kN/m ³
ϕ	30	°
δ	-20	°

De bedding van de ondergrond bedraagt conform opgave opdrachtgever:

k_H	1	MN/m ¹ /m ¹
k_V	10	MN/m ¹ /m ¹

De neutrale gronddrukfactor k_0 wordt bepaald aan de hand van de hoek van inwendige wrijving. $k_0 = 1 - \sin(\phi)$.

$$k_0 = 0,5$$

De passieve gronddrukfactor k_p wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$k_p = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) * \sin \phi / \cos \delta)^{0,5})^2 = 5,74$$

Als bovenbelasting op het maaiveld direct naast de constructie wordt aangehouden, conform NEN-EN 9997-1 art. 2.4.2:

$$p_k = 20 \text{ kN/m}^2$$

Er wordt als rustende belasting op de wanden voor eventuele randelementen een belasting aangehouden.

$$F_k = 5 \text{ kN}$$

De onderstaande parameters zijn geldig voor het mechanisch verdichten.

Voor de passieve gemobiliseerde gronddruk moet een parameter (a) ingevoerd worden. Deze waarde varieert tussen 0,01 voor vastgepakt zand en 0,1 voor los gepakt zand. Voor in lagen verdicht zand kan a = 0,03 worden aangehouden.

Pakking ondergrond:	in lagen verdicht
a	= 0,03 -

Bij verdichten met een trilplaat wordt aangehouden dat: $b_{tril} = 0,8 \text{ m}$

1.3 Constructieve gegevens

De tunnelbak wordt in de volgende consequence class geplaatst, waarbij de volgende gegevens behoren.

Conc. Classe	=	CC2
6.10a	=	1,3 -
6.10b	=	1,2 -
6.10 gunstig	=	0,9 -
Var. Verkeer	=	1,35 -
Var. Overige	=	1,5 -

De levensduur van de constructie	=	100	jaar
De ouderdom ten tijde van belasten	=	90	dagen
De ouderdom aan het einde van de nabehandeling	=	2	dagen

1.4 Materiaalgegevens

De gegevens van het beton, betonstaal en asfalt worden onderstaand gegeven.

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Betonsterkteklasse **C35/45**

f_{ck}	=	35 N/mm ²	ϵ_{c3}	=	1,75 ‰	$f_{ck,k}$	=	45 N/mm ²
f_{cd}	=	23,3 N/mm ²	ϵ_{cu3}	=	3,5 ‰			
f_{ctd}	=	1,5 N/mm ²	α	=	0,75 -			
f_{ctm}	=	3,21 N/mm ²	β	=	0,39 -			
f_{cm}	=	43 N/mm ²	ρ_{min}	=	0,17 %			
E_{cm}	=	34100 N/mm ²	ρ_{max}	=	1,8 %			

Voor de relatieve vochtigheid van de betonconstructie wordt de onderstaande waarde gevonden.

Betonconstructie: **buitenlucht niet boven water**

$$RH = 75 \%$$

Cementklasse: **Klasse N**

$$\alpha_{ds1} = 4 \quad \alpha_{ds2} = 0,12$$

Betonstaal **B500B**

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{\text{asfalt}} = 23 \text{ kN/m}^3$$

Dikte asfaltverharding **120** mm

Dikte uitvullaag **30** mm +

Totale asfaltdikte 150 mm

De ondergrond van het constructieve beton bestaat uit: **Werkvloer**

De onderstaande waarden worden gebruikt tijdens de berekening van de schuifspanning, welke ontstaat door de krimpinvloed. Conform CUR Aanbeveling 166 - Tabel 4.

$$\tau_0 = 25 \text{ kN/m}^2 \quad \mu_0 = 2,5 - \quad \beta_p = 30 \%$$

1.5 Betondekking

Om de betondekking te bepalen, dienen de milieuklasse en constructieve klasse bekend te zijn. Omdat deze klasse van een groot aantal factoren afhankelijk zijn, is ervoor gekozen om deze waarden handmatig weer te geven.

In tabel 1.1 is een overzicht weergegeven, waarin naast de betondekking ook de maximale scheurwijdte gegeven is.

Tabel 1.1: Waarden dekking en maximaal scheurwijdte

Constructie-onderdeel	Milieuklasse	Constructie klasse	C_{min}	ΔC_{dev}	C_{nom}	w_{max}
Tunnelvloer						
Bovenzijde	XC4/XD3/XF4	S5	50	10	60	0,2
Onderzijde	XC2	S5	35	10	45	0,2
Wanden						
Zichtzijde	XC4/XD3/XF4	S5	45	10	55	0,2
Grondzijde	XC2/XC4	S5	30	10	40	0,2

De toegepaste dekking over de gehele constructie bedraagt: **60** mm

1.6 Rustende belasting

Ten behoeve van de rustende belastingen, dienen een aantal variabele zaken ingevoerd te worden. Er wordt gekozen tussen barriers, halve barriers of een geleiderails. In de midden van de tunnelbak wordt er gekozen tussen een middenberm en een dubbele geleiderails.

Er wordt bovenstaand gekozen voor:

Halve stepbarrier

Middenberm

De geleiderails en dubbele geleiderails zijn standaard profielen, waarvan de afmetingen bekend zijn. Ook de stepbarriers zijn standaardprofielen, echter kunnen er halve of hele stepbarriers toegepast worden.

Voor de middenberm dient een dikte en een breedte ingegeven te worden.

Dikte middenberm m

Breedte middenberm m

1.7 Verkeersgegevens

Verkeerscategorie Conform tabel 1.2.

Telling aantal vrachtwagens Alleen invoeren wanneer telling naar vrachtverkeer gedaan is.

De verkeerscategorie wordt bepaald aan de hand van onderstaande tabel. Het aantal vrachtwagens wordt per verkeerscategorie weergegeven. Hierin is de trendfactor verwerkt. Ook is er ruimte voor een verkeerstelling gegeven. Het een en ander is toegelicht in par. 3.1 - Lastmodel 1.

Tabel 1.2: Keuze verkeerscategorie

Verkeerscategorie conform NEN-EN 1991-2 tabel NB.5		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer
Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer	1	2000000
(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	2	500000
Wegen met weinig vrachtverkeer	3	125000
Wegen met weinig vrachtverkeer en uitsluitend bestemmingsverkeer	4	50000
Eigen invoer	Telling	n.v.t.

De correctiefactoren α_{q1} en α_{Q1} mogen alleen zijn gebruikt, wanneer N_{obs} in de projectspecificatie is voorgeschreven (conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 4.3.2 (3))

N_{obs} voorgeschreven

2 Permanente belasting

Onderstaand worden alle permanente belastingen beschreven. De permanente belastingen bestaan uit het eigen gewicht, de rustende belasting, grond,- water- en korreldrukken en kruip/krimp belasting.

2.1 Eigen gewicht

Als eerste wordt het eigen gewicht van de tunnelbak behandeld. Het eigen gewicht wordt door SCIA Engineer zelf gegenereerd. Om deze reden zijn de verkanting in de constructievloer en de wanddikte accuraat gemodelleerd, zodat het eigen gewicht correct wordt beschreven.

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-1 - Tabel A.1}$$

Het totale oppervlakte van de tunnelbak bestaat uit de constructievloer en de twee wanden.

2.2 Rustende belasting

Onderstaand zijn alle rustende belastingen gegeven, welke op de tunnelbak van toepassing zijn. De rustende belasting bestaat uit rijbaanscheiding en kantbescherming, de asfaltconstructie en eventueel de overgangsconstructie.

Als eerste wordt de rijbaanscheiding en de kantbescherming bepaald. Voor de rijbaanscheiding worden in de CROW 2012 drie mogelijkheden gegeven, namelijk: Dubbele geleiderails, barriers en een middenberm. Tevens worden er twee mogelijkheden gegeven voor een kantbescherming, namelijk: Stepbarriers en een geleiderails.

Rustende belasting - Stepbarriers

Aan weerszijden worden stepbarriers toegepast. De oppervlakte en de breedte van de voet van deze barrier is onderstaand gegeven. De hieruit voortvloeiende permanente belasting is gelijk aan:

$$\begin{aligned} A &= 0,16 \text{ m}^2 & p_k &= A * \gamma_{\text{beton}} / b \\ b &= 0,271 \text{ m} & p_k &= 7,4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Rustende belasting - Geleiderails

Aan weerszijden wordt een geleiderails toegepast. De geleiderails zorgt voor onderstaande soortelijk gewicht. De breedte is ook gegeven. Aan de achterzijde van de geleiderails dient een inspectiepad geplaatst te worden met breedte = 0,5 m.

$$\begin{aligned} p_k &= 0,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Dubbele geleiderails

In het midden van de open tunnelbak is een dubbele geleiderails toegepast. De breedte van deze geleiderails en het soortelijk gewicht is onderstaand gegeven:

$$\begin{aligned} p_k &= 0,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Middenberm

In het midden van de open tunnelbak is een middenberm aanwezig. Het oppervlak en de breedte van deze middenberm zijn onderstaand gegeven. Het soortelijk gewicht wordt berekend aan de hand van: $p_k = A * \gamma_{\text{beton}} / b$

$$\begin{aligned} A &= 0,2 \text{ m}^2 & p_k &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 1,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Asfaltconstructie

Het asfalt op de rijvloer wordt gelijkmatig aangebracht (verkanting bevindt zich in de betonconstructie). De dikte van het asfalt is aangehouden in navolging van ROK1.4 art. 13.12, waaruit een asfaltverharding volgt:

- 50 mm ZOAB
- 50 mm dicht asfaltbeton
- 50 mm deklaag

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{asfalt}} &= 23 \text{ kN/m}^3 & \text{Conform R.O.K.1.4. art. A.6} \\ p_k &= \text{dikte} * \gamma_{\text{asfalt}} = 0,15 * 23 = 3,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Rustende belasting - Randelement

Om randelementen te ondervangen, wordt er een mogelijkheid gegeven om een belasting in rekening te brengen op de wanden. Deze belasting bedraagt per wand:

$$F_k = 5 \text{ kN}$$

Resulterende belasting - uit overgangsconstructie

De belasting vanuit de overgangconstructie wordt enkel aangebracht op de buitenste twee moten van de open tunnelbak. Conform RTD 1011 - art 3.2 bedraagt de minimale lengte, van stootplaten in wegen met een ontwerpsnelheid van 80 km/uur of hoger, 5,0 meter. De minimale lengte van stootplaten in wegen met een ontwerpsnelheid lager dan 80 km/uur is 3,0 meter. De overige afmetingen bedragen:

Overgangsplaat	lengte	=	5	m						
	dikte	=	0,35	m						
Gronddekking	dikte	=	0,5	m						
e.g. stootplaat	=	0,5	*	5	*	0,35	*	25	=	21,88 kN/m ¹
gronddekking	=	0,5	*	5	*	0,50	*	18	=	22,50 kN/m ¹
r.b. asfalt	=	0,5	*	5	*	0,15	*	23	=	8,63 kN/m ¹ +
Totaal									=	53,00 kN/m ¹

2.3 Grond-, water- en korrelspanning

Ten aanzien van de optredende horizontale korreldrukken en waterdrukken is een onderscheid gemaakt in verschillende componenten. Voor de permanente belasting worden de volgende twee componenten meegenomen.

- Horizontale korreldruk (permanente belasting)
- Waterdruk (permanente belasting)

De basis voor de grondmechanica wordt gevormd door het beschouwen van de spanningen in de ondergrond. Grond bestaat uit water, korrels en poriën welke gevuld zijn met water of met lucht. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen grondspanning, waterspanning en korrelspanning.

Grondspanning σ

De grondspanning is gelijk aan het gewicht van de grondlagen boven het beschouwde niveau met daarbij opgeteld het eventuele gewicht van de aanwezige belasting op het maaiveld. Grondspanning is opgebouwd uit twee componenten; de spanning tussen de korrels onderling (de korrelspanning) en de spanning in het poriewater (de waterspanning) $\sigma = \sigma_w + \sigma'$.

Waterspanning σ_w

De poriën staan met elkaar in verbinding. De waterspanning op een bepaald niveau is gelijk aan het gewicht van het water boven dat niveau. Voor het volumieke gewicht van water wordt $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ aangehouden. De waterdruk is alzijdig.

Korrelspanning σ'

In de grondmechanica wordt de korrelspanning bepaald aan de hand van de basiswet van Terzaghi: $\sigma = \sigma_w + \sigma'$ waaruit volgt:

$$\sigma' = \sigma - \sigma_w$$

De waterdruk en korreldruk is hierbij opgesplitst in een permanent deel en een variabel deel. De permanente water- en korreldruk is bepaald aan de hand van de GLG. Het variabele gedeelte is het gedeelte tussen de GLG en de GHG.

De opwaartse grondwaterdruk is hierbij gelijk aan de horizontale grondwaterdruk (alzijdig).

De horizontale korrelspanningen worden bepaald door middel van de vaste verhouding tussen de neutrale gronddrukcoëfficiënt k_0 en de verticale korrelspanning. $\sigma'_{\text{verticaal}} = k_0 * \sigma'_{\text{horizontaal}}$

De hoek van inwendige wrijving (ϕ) is afhankelijk van de grondsoort en weergegeven in invoergegevens.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi) = 0,5$$

De geohydrologische gegevens bedragen:

GHG	=	37,5 m + NAP	o.k. vloer	=	35 m + NAP
GLG	=	36,5 m + NAP	b.k. vloer	=	35,8 m + NAP
Maaiveld	=	39,8 m + NAP	hart vloer	=	35,4 m + NAP

Droge grond:	γ_{dry}	=	18 kN/m ³
Natte grond:	γ_{sat}	=	20 kN/m ³
Water:	γ_{water}	=	10 kN/m ³

De waterdruk en korreldrukken zijn berekend in tabel 2.1.

De permanente- en variabele korreldrukken en grondwaterdrukken worden bepaald op basis van de gemiddelde lage grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoge grondwaterstand (GHG).

Tabel 2.1: Water- en korreldrukken

	Peil (m + NAP)	Waterdruk (kN/m ²)	$P_{\text{water,p}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{water,Q}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,V,tot}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,tot}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,perm}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,var}}$ (kN/m ²)
Maaiveld	39,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHG	37,5	0,0	0,0	0,0	41,4	20,7	20,7	0,0
GLG	36,5	10,0	0,0	10,0	51,4	25,7	29,7	-4,0
b.k. vloer	35,8	17,0	7,0	10,0	58,4	29,2	33,2	-4,0
hart vloer	35,4	21,0	11,0	10,0	62,4	31,2	35,2	-4,0
o.k. vloer	35	25,0	15,0	10,0	66,4	33,2	37,2	-4,0

De waarden welke zijn weergegeven in tabel 2.1, zijn bepaald door onderstaande formules in te voeren.

$$\text{Waterdruk} = (\text{GHG} - \text{peil}) * \gamma_{\text{water}}$$

$$P_{\text{water,p}} = (\text{GLG} - \text{peil}) * \gamma_{\text{water}}$$

$$P_{\text{water,Q}} = \text{waterdruk} - P_{\text{water,p}}$$

$$\text{Verticale korrelspanning} = (\text{maaiveld} - \text{peil}) * \gamma_{\text{dry}} \text{ (gedeelte boven GHG)}$$

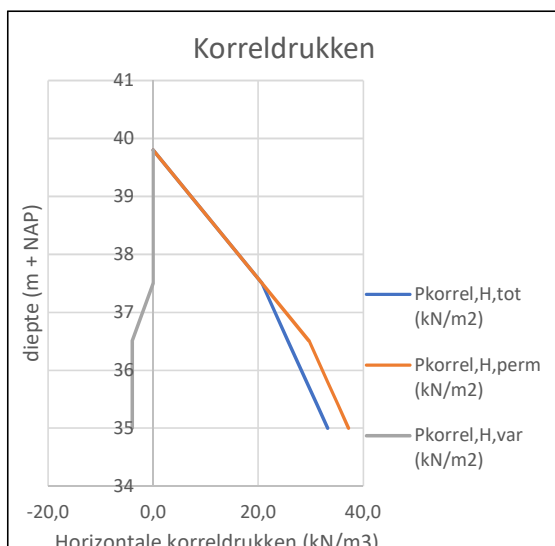
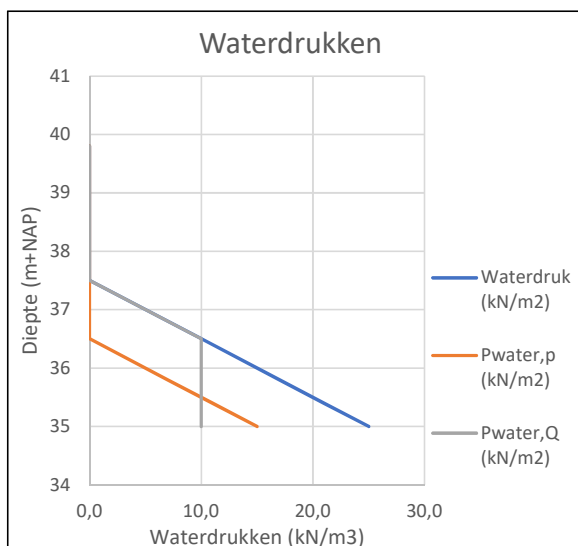
$$\text{Verticale korrelspanning} = \text{korrelspanning vorige peil} + (\text{vorige peil} - \text{peil}) * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \text{ (gedeelte onder GHG)}$$

$$\text{Horizontale korrelspanning} = \text{verticale korrelspanning} * k_0$$

$$P_{\text{korrel,H,perm}} = (\text{maaiveld} - \text{peil}) * k_0 * \gamma_{\text{dry}} \text{ (gedeelte boven GLG)}$$

$$P_{\text{korrel,H,perm}} = \text{korrelspanning vorige peil} + (\text{vorige peil} - \text{peil}) * k_0 * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \text{ (gedeelte onder GLG)}$$

$$P_{\text{korrel,H,var}} = (\text{GHG} - \text{GLG}) * k_0 * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) - (\text{GHG} - \text{GLG}) * k_0 * \gamma_{\text{dry}}$$



Figuur 2.1: Grafieken water- en korreldrukken

2.4 Grondmassief op oor

De rustende belasting van de grond op de oren is als belasting meegenomen. De afmetingen van deze grondspie zijn afhankelijk van de wanddikte, wandhoogte en hellingshoek van de grond. Wanneer er geen oren aanwezig zijn, zal de waarde 0 kN/m² bedragen.

Het volumieke gewicht van de grond is aangehouden als:

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{sat}} &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{dry}} &= 18 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

De overige constructieve gegevens bestaan uit:

GHG	=	37,5	m + NAP	Lengte wand links	=	5000	mm
GLG	=	36,5	m + NAP	Lengte wand rechts	=	5000	mm
Maaiveld	=	39,8	m + NAP	Lengte oor links	=	0	mm
b.k. vloer	=	35,8	m + NAP	Lengte oor rechts	=	0	mm

$$\text{Maximale hoogte grondspie links} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Maximale hoogte grondspie rechts} = 4000 \text{ mm}$$

Rustende belasting linkerzijde

$$p_k = 2,3 * 18 + 1,7 * 20 = 75,4 \text{ kN/m}^2 \longrightarrow 0 \text{ kN/m}^2$$

Rustende belasting rechterzijde

$$p_k = 2,3 * 18 + 1,7 * 20 = 75,4 \text{ kN/m}^2 \longrightarrow 0 \text{ kN/m}^2$$

2.5 Krimp- en kruipbelasting

Er wordt rekening gehouden met de verandering van vervorming door stortfaseringen en dergelijke. Voor de vloeren geldt dat deze worden gestort op een werkvloer, een grondpakket of onderwaterbeton. Dit zorgt voor verandering van krimpverktoring. Voor de wanden geldt dat deze worden gestort op een reeds verharde vloer wat eveneens in een verandering van vervorming resulteert. Hierbij mag het belastingeffect worden gereduceerd onder invloed van kruip.

De verandering van de krimpverktoring door onderliggende pakket zorgt voor een wrijving. Deze wrijving resulteert in een trekkracht in de betonconstructie. In navolging van de CUR Aanbeveling 36 - art. 4.4. is de schuifspanning τ_g tussen de betonnen vloer en de ondergrond bepaald volgens:

$$\tau_g = \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\beta_p}{100}\right) + \mu_0 \cdot \left[\left(1 - \frac{\beta_p}{100}\right) \cdot q_{g,sg} + q_{g,d} + q_{g,rb} + q_{g,qb}\right]$$

Hierin is τ_0 de initiële wrijving (cohesie) en μ_0 de wrijvingscoëfficiënt tussen vloer en ondergrond. β_p is het percentage van de door voorspanning gemobiliseerde wrijving, t.g.v. eigen gewicht, wat permanent aanwezig blijft. In navolging van CUR Aanbeveling wordt $\beta_p = 30\%$ gekozen. De wrijvingscoëfficiënt en cohesie zijn ontleend aan CUR Aanbeveling 36 - Tabel 4.

De ondergrond van het constructieve beton bestaat uit: Werkvloer

$$\tau_0 = 25 \text{ kN/m}^2 \quad \mu_0 = 2,5 \quad \beta_p = 30 \%$$

De belastingen $p_{g,eg}$, $p_{g,rb}$ en $p_{g,qb}$ betreffen de belasting door respectievelijk het eigen gewicht, de rustende belasting (bijv. asfalt) en het quasi-permanente deel van de veranderlijke belasting ($\psi_2 \times Q_{\text{mobiel, LM1}}$)

$$\begin{aligned}p_{g,eg} &= \text{Gemiddelde vloerdikte} * \gamma_{\text{beton}} = 0,87 * 25 = 21,71 \text{ kN/m}^2 \\ p_{g,rb} &= \text{Asfaltdikte} * \gamma_{\text{asfalt}} = 0,15 * 23 = 3,45 \text{ kN/m}^2 \\ p_{g,qb} &= \psi_2 * Q_{\text{mobiel, LM1}} = 0,40 * 20 = 8,00 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Waarbij $\psi_2 = 0,4$ (conform NEN-EN 1990 tabel NB.9- A2.1).

$$\text{De schuifspanning bedraagt: } \tau_g = 84,12 \text{ kN/m}^2$$

De optredende normaalkracht in de vloer, als gevolg van verhinderde krimpvervorming, als gevolg van wrijving tussen vloer en ondergrond bedraagt dan maximaal: $N_T = 0,5 * \tau_g * l_{\text{moot}}$ (in de middendoorsneden - aan de uiteinden van de vloer is deze kracht nog niet ontwikkeld).

Dwarsrichting	l_{moot}	=	12,60 m	N_T	=	530 kN/m ¹
Lengterichting	l_{moot}	=	25,00 m	N_T	=	1052 kN/m ¹

Onder invloed van kruip zal een gedeelte van het belastingeffect relaxeren. Deze relaxatie is afhankelijk van de kruipcoëfficiënt. Onderstaand wordt de kruipcoëfficiënt berekend.

De breedte en gemiddelde hoogte van de constructievloer is gegeven in de geometrie en bedragen:

$$b = 12600 \text{ mm} \quad h = 868,5 \text{ mm}$$

Vanuit deze afmetingen wordt de theoretische dikte van het element bepaald:

$$h_0 = (2 \cdot A_c) / u = (2 \cdot h \cdot b) / (2 \cdot (h + b)) = 812 \text{ mm} \quad (\text{B.6})$$

De betonsterkteklasse is gegeven bij de invoergegevens. De gemiddelde druksterkte van het beton bij een ouderdom van 28 dagen bedraagt hieruit volgend:

$$f_{ck} = 35 \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \quad \text{Conform NEN-EN 1992-1-1 Tabel 3.1}$$

De kruipcoëfficiënt $\varphi(t, t_0)$ mag zijn berekend met:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (\text{B.1})$$

$$\varphi_0 \text{ is de theoretische kruipcoëfficiënt die mag worden berekend uit: } \varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{B.2})$$

In de norm worden een drietal coëfficiënten benoemd, waarmee de invloed van de betonsterkte in rekening is gebracht:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= [35/f_{cm}]^{0,7} = 0,866 - \\ \alpha_2 &= [35/f_{cm}]^{0,2} = 0,960 - \\ \alpha_3 &= [35/f_{cm}]^{0,5} = 0,902 - \end{aligned} \quad (\text{B.8c})$$

φ_{RH} is een factor welke rekening houdt met het effect van de relatieve vochtigheid op de theoretische kruipcoëfficiënt:

Er wordt onderscheidt gemaakt in de berekening tussen $f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2$ en $f_{cm} > 35 \text{ N/mm}^2$.

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot h_0^{1/3}} \quad \text{Voor } f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.3a})$$

$$\varphi_{RH} = [1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot h_0^{1/3}}] \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad \text{Voor } f_{cm} > 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.3b})$$

De relatieve vochtigheid van de constructievloer wordt bepaald bij de invoergegevens en bedraagt: 75 %

$$\varphi_{RH} = 1,182 -$$

De factor $\beta(f_{cm})$ is een factor welke rekening houdt met het effect van de betonsterkte op de theoretische kruipcoëfficiënt.

$$\beta(f_{cm}) = 16,8 / f_{cm}^{0,5} = 2,562 \quad (\text{B.4})$$

$\beta(t_0)$ is een factor die rekening houdt met het effect van de ouderdom van het beton op het tijdstip van belasten op de theoretische kruipcoëfficiënt.

$$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,20}) \quad \text{waarbij } t_0 \text{ is bepaald op: } 90 \text{ dagen} \quad \beta(t_0) = 0,391 \quad (\text{B.5})$$

Nu alle factoren voor de theoretische kruipcoëfficiënt bepaald zijn, kan deze factor berekend worden.

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,183 - \quad (\text{B.1})$$

Om de kruipcoëfficiënt te berekenen, dient als laatste $\beta_c(t, t_0)$ berekend te worden. Dit is een coëfficiënt waarmee de ontwikkeling van de kruip in de tijd na belasten wordt beschreven en mag zijn berekend met de volgende vergelijking:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad (\text{B.7})$$

t is de levensduur van de constructie in dagen: 36500 dagen

β_H is een coëfficiënt die afhangt van de relatieve vochtigheid en de theoretische dikte van het element. β_H wordt berekend met de onderstaande formules en is afhankelijk van f_{cm}

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{Voor } f_{cm} \leq 35 \quad (B.8a)$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 * \alpha_3 \quad \text{Voor } f_{cm} \geq 35 \quad (B.8b)$$

$$\beta_H = 1353$$

$$\beta_c(t, t_0) = 0,989$$

De kruipcoëfficiënt: = 1,171 -

Het gedeelte wat relaxeert wordt bepaald door formule: $k_\varphi = \frac{1 - e^{-\varphi(\infty, t_0)}}{\varphi(\infty, t_0)} = 0,589$

Onder invloed van kruip zal circa $(1 - k_\varphi)$ van het belastingeffect relaxeren. Rekening wordt gehouden met onderstaande normaaltrekkracht op de vloerconstructie:

$$1 - k_\varphi = 1 - 0,589 = 0,411$$

$$\text{Dwarsrichting } N_T = 0,41 * 530 \quad N_T = 217,7 \text{ kN/m}^1$$

$$\text{Lengterichting } N_T = 0,41 * 1052 \quad N_T = 431,9 \text{ kN/m}^1$$

Uitdrogingskrimp

Voor de wanden en vloeren dient ook rekening te zijn gehouden met een krimpverkortening ten gevolgen van uitdrogingskrimp.

De uitdrogingskrimp is berekend conform NEN-EN 1992-1-1 art. 3.1.4 (6).

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0} \quad (3.8)$$

Waarin k_h een coëfficiënt is die afhangt van de fictieve dikte h_0 conform tabel 2.2

Tabel 2.2: Waarde k_h

Tabel 3.3. - waarden voor k_h in vergelijking (3.9)	
h_0	k_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
500	0,70

$$h_0 = 812 \text{ mm}$$

$$k_h = 0,70$$

De basisverkortening ten gevolge van uitdrogingskrimp $\varepsilon_{cd,0}$ wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. B.2

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 [(220 + 110 * \alpha_{ds1}) * \exp(-\alpha_{ds2} * (f_{cm}/f_{cm0}))] * 10^{-6} * \beta_{RH} \quad (B.11)$$

$$\text{Waarin: } \beta_{RH} = 1,55 [1 - (RH/RH_0)^3] \quad (B.12)$$

$$f_{cm} = 43 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_{ds1} = 4$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_{ds2} = 0,12$$

$$RH = 75 \%$$

$$RH_0 = 100 \%$$

$$\beta_{RH} = 0,8961$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,0003$$

Als laatste dient een factor $\beta_{ds}(t, t_s)$ berekend te worden.

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04(h_0^3)^{0,5}} \quad (3.10)$$

$$t = 100 \text{ dagen}$$

$$t_s = 2 \text{ dagen}$$

$$h_0 = 812 \text{ mm}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = 0,514 -$$

De uitdrogingskrimp bedraagt:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cd}(t) &= \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0} \\ \varepsilon_{cd}(t) &= 0,000108 \text{ m} = 108 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

Autogene krimpverkorting

Naast de uitdrogingskrimp wordt ook de autogene krimp beschouwd. Deze krimp is berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 3.11

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ca}(t) &= \beta_{as}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty) \\ \beta_{as}(t) &= 1 - \exp(-0,2 * t^{0,5}) = 1 \\ \varepsilon_{ca}(\infty) &= 2,5 (f_{ck} - 10) * 10^{-6} = 0,0000625 \\ \varepsilon_{ca}(t) &= 0,000063 \text{ m}\end{aligned}$$

Totale krimpverkorting

De totale krimpverkorting bedraagt: 0,00017 m

Deze verkorting wordt omgerekend naar een temperatuur.

$$\Delta l = \alpha * \Delta T * l \quad \text{geeft} \quad \Delta l / l = \alpha * \Delta T$$

$$\text{Hierin is } \alpha \text{ een constante} = 1,0 * 10^{-5}$$

De temperatuur welke op de gehele constructie gezet dient te worden bedraagt: -17,0 °C

3 Variabele belasting

Onderstaand zijn alle variabele belastingen beschreven. Deze belastingen worden in het rekenmodel op de tunnelbak geplaatst. De variabele belasting bestaat onder andere uit de mobiele belasting, de verhoogde korreldruk, het opspaneffect en de thermische belasting.

3.1 Mobiele belasting op rijweg - LM1

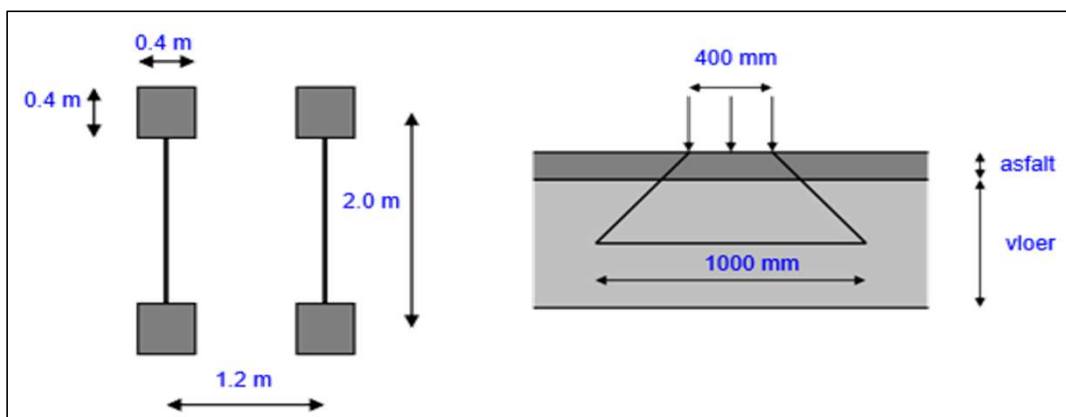
Er is een mobiele belasting gehanteerd conform NEN-EN 1991-2 - art. 4.3. Er wordt onderscheidt gemaakt in vier Belastingsmodellen (LM).

De verkeersbelasting op de rijweg bestaat uit mobiele belastingen in de vorm van geconcentreerde aslasten (TS) en gelijkmatig verdeelde belastingen (UDL)

De tandemstelsels modelleren de verkeersbelasting middels twee aslasten, lang 2.0 m, met een onderlinge hart-op-hartafstand van 1.20 m. De wielprenten zijn hierbij beschreven als vierkanten 400x400 mm. (zie onderstaande figuur). De aslasten zijn gespreid door het asfalt en de halve constructievloerdikte onder een hoek van 45° met een ondergrensbenadering van een halve constructievloerdikte van 300 mm. (conform NEN-EN 1991-2- art. 4.3.6.) De karakteristieke waarden van belastingmodel 1 staan gegeven in tabel 3.1.

De totale belasting per wiel in de dwarsrichting wordt tevens gespreid ten gevolge van het volledige tandemstelsel over een lengte van 4,0 meter.

Standaard wielprent	=	400 mm	Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (1a)
Halve constructievloerdikte	=	300 mm	
Spreiding = wielprent + 2 x halve vloerdikte	=	1000 mm	Maximaal 1000 mm
Spreiding volledige tandemstelsel	=	4000 mm	



Figuur 3.1: Assen en spreiding

De positie van de tandemstelsels dient dusdanig gekozen te worden dat het belastingseffect zo ongunstig mogelijk is. Ten aanzien van het globale constructief gedrag is het gerechtvaardigd om de tandemstelsels in het hart van de rijstroken aan te houden. (NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (1)).

De dagmaat tussen de betonnen eindwanden bedraagt: 11000 mm
Hiertussen bevinden zich de betonnen barriers, de rijwegen en de middenberm.

Tabel 3.1: NEN-EN 1991-2 - tabel 4.2.

Tabel 4.2 - Belastingsmodel 1: karakteristieke waarden		
Positie	Tandemstelsel TS	Gelijkmatig verdeelde belasting
	Aslasten Q_{ik} (kN)	q_{ik} (of q_{rk}) (kN/m ²)
Rijstrook nummer 1	300	9
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5
Rest. Oppervlak q_{rk}	0	2,5

Het aantal theoretische rijstroken in combinatie met het te verwachten vrachtverkeer, (en/of de aanwezigheid van een doelgroepstrook voor vrachtverkeer) ligt ten grondslag aan het toepassen van de correctiefactoren α_{qi} en α_{qi} ($i = 1 \dots n$)

Om deze correctiefactoren toe te kunnen passen, dient het aantal verwachte zware voertuigen per jaar en per rijstrook ($N_{obs,a,ai}$) bekend te zijn. Deze waarden zijn per verkeerscategorie weergegeven in tabel 3.2. Tevens wordt er in de tabel een mogelijkheid gegeven om een telling in te voeren. Op deze telling zal een trendfactor conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (3) van toepassing zijn.

Tabel 3.2: Verkeerscategorie

Verkeerscategorie conform NEN-EN 1991-2 tabel NB.5		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer
Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer	1	2000000
(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	2	500000
Wegen met weinig vrachtverkeer	3	125000
Wegen met weinig vrachtverkeer en uitsluitend bestemmingsverkeer	4	50000
Eigen invoer	Telling	n.v.t.

De trendfactor welke van toepassing is op een telling van het vrachtverkeer is afhankelijk van de referentieperiode. Voor een periode van 50 jaar wordt een factor 1,25 aangehouden. Voor 100 jaar wordt 1,50 aangehouden. Ook voor overige referentieperiodes wordt conservatief 1,50 aangehouden.

Trendfactor 1,5

Tabel 3.3: Correctiefactoren

Tabel NB.1 - Correctiefactoren α_{Q1} , α_{q1} en α_{qr}					
Aantal vrachtwagen per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer N_{obs}	α_{Q1} en α_{q1}				α_{qr}
	Invloeds lengte L (m)				
	20	30	40	50	
2000000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
500000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
125000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Verkeerscategorie	2	
$N_{obs,a,ai}$	500000	aantal vrachtwagens
$N_{obs,a,ai}$ incl. trend	500000	aantal vrachtwagens
Invloeds lengte L (m)	25	m
α_{q1}	1,00	-
α_{q1}	1,00	-
α_{qr}	1,00	-

De breedte van een theoretische rijstrook wordt aangehouden op: $w_l = 3,0 \text{ m}$ NEN-EN 1991-2 figuur 4.2a

Dagmaat tunnelbak = 11,0 m

Aantal theor. rijstroken = 3,00 rijstroken Rest. opp. 0,67 m

Wanneer het aantal theoretische rijstroken groter of gelijk aan 3,0 is en $N_{obs} \geq 2000000$, dienen de correctiefactoren α_{q1} en α_{qi} conform NEN-EN 1991-2/NB - art. 4.3.2 bepaald te worden.

$\alpha_{q1} = 1,15$

$\alpha_{qi} = 1,40$

In tabel 3.4 staan de aslasten en de gelijkmatig verdeelde belastingen weergegeven, welke vermenigvuldigd zijn met de correctiefactoren.

Tabel 3.4: NEN-EN 1991-2 - tabel 4.2.

	Aslasten Q_{ik} (kN)	q_{ik} (of q_{rk}) (kN/m ²)
Rijstrook nummer 1	300	9,0
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5
Rest. Oppervlak q_{rk}	0	2,5

$$\begin{aligned}
 Q_{1k} &= 300 / 2 = 150 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 75,0 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{2k} &= 200 / 2 = 100 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 50,0 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{3k} &= 100 / 2 = 50 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 25,0 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Dwarsrichting

$$\begin{aligned}
 q_{1k} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{2k} &= 2,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Lengterichting

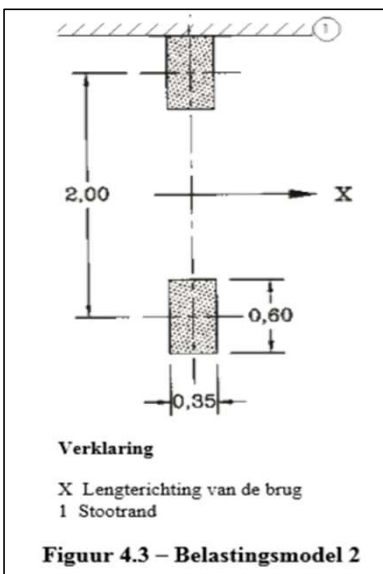
$$\begin{aligned}
 q_{1k} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{2k} &= 2,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3.2 Enkele aslast - LM2

Lastmodel 2 bestaat uit een enkele aslast $\beta_Q Q_{ak}$ die op iedere willekeurige positie van de rijweg behoort te zijn toegepast, en waarbij Q_{ak} gelijk is aan 400 kN.

De waarde β_Q wordt conform NEN-EN 1991-2 art. NB 4.3.3. gelijk gehouden aan α_{Q1} .

Het contactoppervlak van ieder wiel behoort als een rechthoekig valk, met zijden van 0,35 m en 0,60 m, in rekening te zijn gebracht (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2: Lastmodel 2 conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3.

$$\begin{aligned}
 \beta_Q &= 1,00 - \\
 Q_{ak} &= 400 \text{ kN} \\
 \beta_Q Q_{ak} &= 400 \text{ kN} = 200 \text{ kN per wiel}
 \end{aligned}$$

Breedte richting

$$\begin{aligned}
 \text{Standaard wielprent} &= 600 \text{ mm} & \text{Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3 (4)} \\
 \text{Halve constructievloerdikte} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding} = \text{wielprent} + 2 * \text{halve vloerdikte} &= 1200 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding volledige stelsel} &= 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lengterichting

$$\begin{aligned}
 \text{Standaard wielprent} &= 350 \text{ mm} & \text{Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3 (4)} \\
 \text{Halve constructievloerdikte} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding} &= 950 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_Q Q_{ak} = 200 \text{ kN} \quad \text{gespreid over:} \quad 1,2 \text{ m} \quad \text{en} \quad 0,95 \text{ m} \quad p_k = 87,72 \text{ kN/m}^2$$

3.3 Bijzondere voertuigen - LM3

Daar waar relevant, behoren belastingsmodellen voor bijzondere voertuigen te zijn vastgesteld en in rekening te zijn gebracht. Deze behoren door de opdrachtgever inzichtelijk te zijn gemaakt.

Conform NEN-EN 1991-2/NB - art. 4.3.4.1. mag dit belastingsmodel alleen zijn toegepast indien dit in de projectspecificatie voor een afzonderlijk project is voorgeschreven. Indien dit belastingsmodel is voorgeschreven, moeten het aantal bijzondere voertuigen, de maximale aslasten, het aantal aslijnen en de afstanden tussen de aslijnen zijn voorgeschreven.

Aangezien dit belastingsmodel alleen wordt toegepast na opgave opdrachtgever, wordt deze voor het verdere verloop van de berekening buiten beschouwing gelaten.

3.4 Mensenmenigte - LM4

Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.5 behoort een mensenmenigte, indien relevant, te zijn weergegeven door een belastingsmodel bestaande uit een gelijkmatig verdeelde belasting gelijk aan 5 kN/m^2 . Hierin is een vergrotingsfactor voor dynamische effecten inbegrepen.

$$q_{fk} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

3.5 Rembelasting door wegverkeer

Er dient een remkracht Q_{ik} in rekening gebracht te worden, die werkt in de lengterichting en die aangrijpt ter hoogte van de bovenzijde van het wegdek.

$$Q_{ik} = 0,6 * \alpha_{Q1} (2Q_{lk}) + 0,10 * \alpha_{Q1} * q_{lk} * w_l * L$$

Waarbij: w_l = theoretische rijstrook

L = Lengte van het beschouwde gedeelte

$$Q_{ik} = 427,5 \text{ kN}$$

De remkracht heeft de volgende waarde als onder- en bovengrens

$$180 * \alpha_{Q1} \leq Q_{ik} \leq 800 = 427,5 \text{ kN}$$

Versnellingskrachten behoren met dezelfde waarden als remkrachten, maar in tegengestelde richting, in rekening gebracht te zijn. In de praktijk betekent dit dat Q_{ik} zowel positief als negatief kan zijn.

De rembelasting is hierbij gespreid over 3 meter breedte zijnde de rijstrookbreedte:

$$q_{lk} = 427,5 / 3 \quad q_{lk} = 142,5 \text{ kN/m}^1$$

De lengte van de moot bedraagt: $l = 25 \text{ m}$

De rembelasting wordt gespreid over deze gehele lengte, aangezien de tunnel is gefundeerd op staal.

$$142,5 / 25 = 5,70 \text{ kN/m}^2$$

Deze rembelasting heeft nauwelijks invloed op het globale constructieve gedrag en wordt in het vlak van de vloer afgedragen. Om deze reden is deze belasting niet meegenomen in de belastingcombinaties.

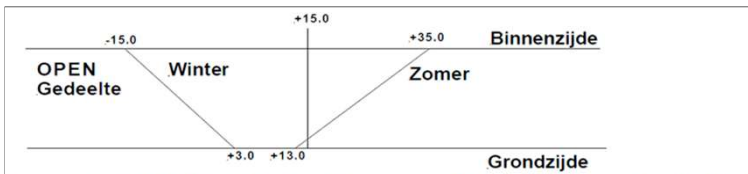
3.6 Thermische belasting

Als gevolg van de 4 seizoenen krijgen open tunnelbakken te maken met aanzienlijke temperatuurverschillen. Deze verschillen, met als gevolg het krimpen en uitzetten van de doorsnede, zorgen voor interne krachten in het beton. Om deze krachten inzichtelijk te krijgen, is het nodig om een overzicht te maken van de thermische belasting op de tunnelbak.

Onderscheid zal gemaakt moeten worden tussen jaarlijkse temperatuurswisselingen en de dagelijkse wisselingen.

Thermische belasting - jaarlijkse wisselingen

Voor open moten moet de volgende temperatuurverdeling aangehouden worden. De referentietemperatuur is 15 °C.



Figuur 5-2: Jaarlijkse temperatuurswisselingen voor open gedeelten

De thermische belastingen zijn bepaald in navolging van EN1991-1-5, met de aanvullingen gegeven in ROK 1.4.

Figuur 3.3: Figuur 5-2 ROK 1.4

Open moten	Referentie		Zomer		Winter	
	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Vloer + wanden	+15	+15	+35	+13	-15	+3

Open moten	Zomer		Winter	
	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Vloer + wanden	35 - 15 = 20	13 - 15 = -2	-15 - 15 = -30	3 - 15 = -12

Zomer	
Binnenzijde	20
Grondzijde	-2
Winter	
Binnenzijde	-30
Grondzijde	-12

Voor de thermische uitzettingscoëfficiënt voor het beton is aangehouden

$\alpha = 1\text{E-}05$ - voor de vloeren en

$\alpha = 1\text{E-}05$ - voor de wanden.

De belasting is aangebracht als een lineair verlopende thermische belasting op zowel de wanden als de vloer.

Thermische belasting - dagelijkse wisselingen

Ten gevolge van de dagelijkse temperatuurswisselingen op de binnenzijde van de tunnelbak, moeten deze wisselingen worden gesuperponeerd op de jaarlijkse temperatuurswisselingen.

De dagelijkse temperatuurswisselingen zijn aangehouden in overeenstemming met ROK 1.4, waardoor geldt voor een situatie met 100 mm asfalt:

Maximumtemperatuur: $\Delta T = 10\text{ °C}$

Minimumtemperatuur: $\Delta T = -5\text{ °C}$

Het temperatuurverloop wordt gesplitst in de volgende drie onderdelen:

- Een over de hele hoogte gelijkmatig verdeelde temperatuur;
- Een over de hele hoogte gelijkmatig verlopende temperatuur
- Een resulterende temperatuurverdeling (eigentemperatuur).

De eigentemperatuur wordt verwaarloosd aangezien deze normaliter het uitwendige gedrag van de constructiedelen niet beïnvloed. Het temperatuurverloop is voor een elementdikte 800 mm onderstaand gegeven, met of zonder asfalt van 100 mm.

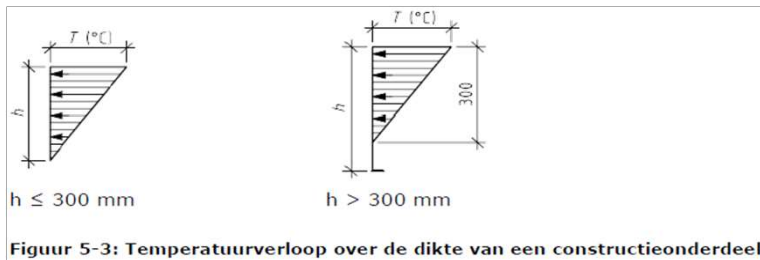
Tabel 3.5: Tabel 5-2 ROK 1.4

Tabel 5-2: Dagelijkse temperatuurswisselingen voor binnenzijde van open gedeelten en de bovenzijde van tunneldaken

Grond- of asfaltdekking (m)	Min. en max. temperaturen	
	Min. (°C)	Max. (°C)
0	-8	+20
0,08	-6	+12
0,10	-5	+10
0,20	-2	+5
0,30 of meer	0	0

De in tabel 3.5 gegeven temperaturen gelden voor constructieonderdelen tot een dikte van 300 mm (onder het oppervlak) als lineair temperatuurverschil over de totale dikte van het constructiedeel, zie figuur 3.4 links. Voor de rest van de dikte treedt geen wijziging van de temperatuur op, zie figuur 3.4 rechts. De minimale constructiedikte bedraagt 300 mm.

Bij constructiedelen met een grotere dikte dan 300 mm verloopt de temperatuur lineair tussen het oppervlak en een punt 300 mm onder het oppervlak, voor de rest van de dikte treedt geen wijziging van de temperatuur op, zie figuur 3.4 rechts.



Figuur 3.4: Figuur 5-3 ROK 1.4

In een overgangsgebied tussen een gesloten en open gedeelte moet over een lengte van 25 m tussen de waarden voor het gesloten en open gedeelte lineair geïnterpoleerd worden.

De genoemde maximale en minimale temperaturen gelden voor een constructie in de gebruiksfase. Als de constructie tijdens de bouwphase aan andere omstandigheden wordt blootgesteld, bijvoorbeeld als de constructie niet aangevuld is met grond, moet dit in rekening worden gebracht.

Het temperatuurverloop van de constructie is bepaald bij een vloer met daarop 100 mm asfalt. Deze dikte is in de werkelijkheid 150 mm, maar omdat de berekening van de temperaturen vanaf 100 mm op honderdtallen naar beneden afrond, is de temperatuur volgens tabel 3.5, gekoppeld aan een asfaltdikte van 100 mm. Ook is het verloop bepaald bij een vloer tijdens de bouwphase, dus zonder asfalt, en de wanden waar in de eerste plaats geen asfalt aanwezig is.

Asfaltdikte:	150 [mm]	Uit tabel 3.5 volgt dan:	$T_{\min}$:	-5 [graden Celsius]
			$T_{\max}$:	10 [graden Celsius]
Asfaltdikte:	0 [mm]	Uit tabel 3.5 volgt dan:	$T_{\min}$:	-8 [graden Celsius]
			$T_{\max}$:	20 [graden Celsius]
Dikte vloer:	800 [mm]	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen.		

Om inzicht te krijgen in het temperatuurverloop in de constructie, is het nodig om de 4 grafieken te verklaren. Grafiek T is de basisgrafiek die in feite de opsomming van grafiek T_1 t/m T_3 is. Grafiek T_1 (T_n) weergeeft de gelijkmatig verdeeld temperatuur. Grafiek T_2 (T_m) weergeeft de temperatuurkromming en grafiek T_3 (T_{et}) weergeeft de eigentemperatuur.

Voorbeeld:

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

$$10,00 = 1,88 + 4,22 + 3,91$$

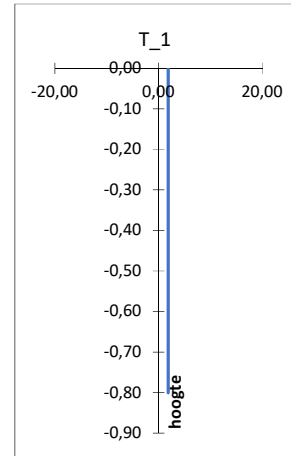
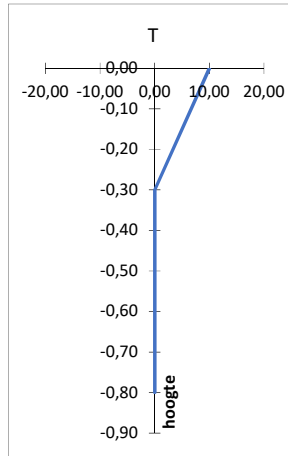
Grafiek T is berekend conform ROK 1.4 art. 5.5.

Grafieken T_1 t/m T_3 zijn berekend conform cursus TU Delft Temperatuur- en krimpgradienten.

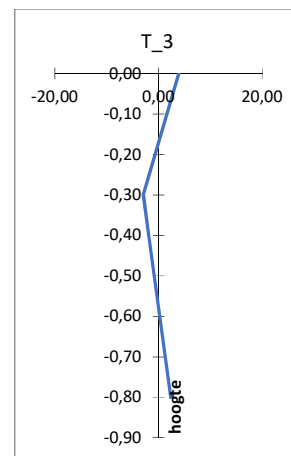
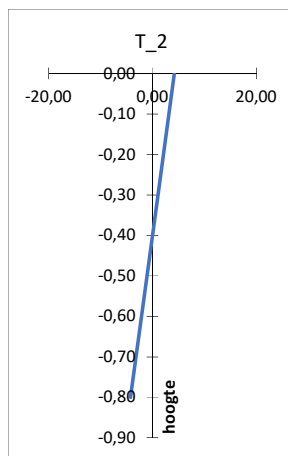
Temperatuurbelasting zomer

Asfaltdikte: 150 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: 10 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	10,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	1,88
-0,3	1,88
-0,4	1,88
-0,8	1,88



Hoogte	T_2
0,0	4,22
-0,3	1,05
-0,4	0,00
-0,8	-4,22

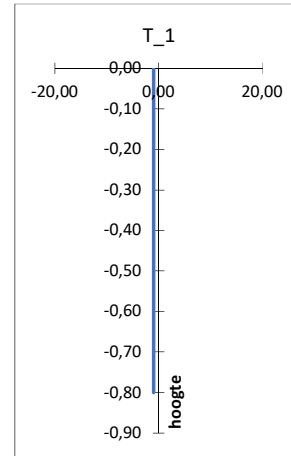
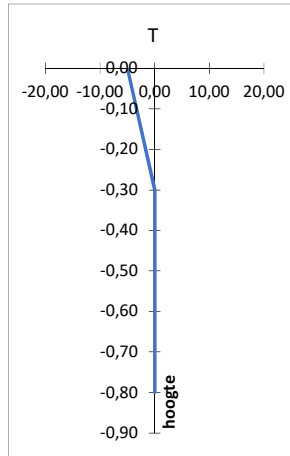
Hoogte	T_3
0,0	3,91
-0,3	-2,93
-0,4	-1,88
-0,8	2,34

Temperatuur bovenzijde: $T = 1,88 + 4,22 = 6,09$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = 1,88 + -4,219 = -2,34$ [graden Celsius]

Temperatuurbelasting winter

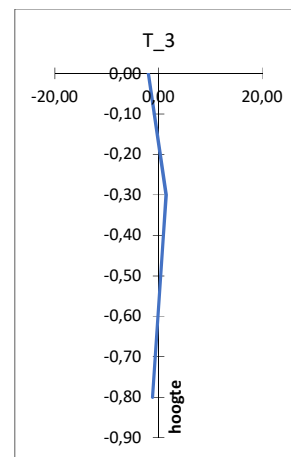
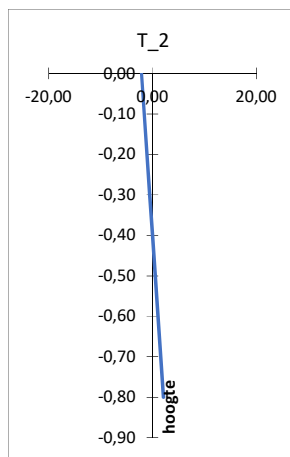
Asfaltdikte: 150 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: -5 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	-5,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	-0,94
-0,3	-0,94
-0,4	-0,94
-0,8	-0,94

Hoogte	T_2
0,0	-2,11
-0,3	-0,53
-0,4	0,00
-0,8	2,11



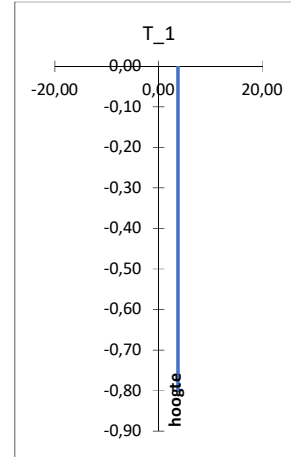
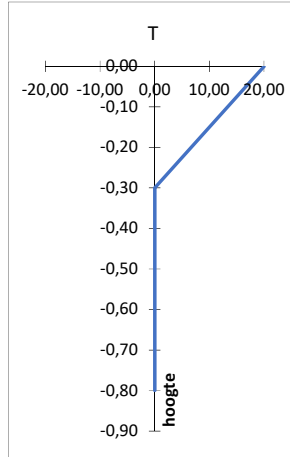
Hoogte	T_3
0,0	-1,95
-0,3	1,46
-0,4	0,94
-0,8	-1,17

Temperatuur bovenzijde: $T = -0,94 + -2,11 = -3,05$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = -0,94 + 2,11 = 1,17$ [graden Celsius]

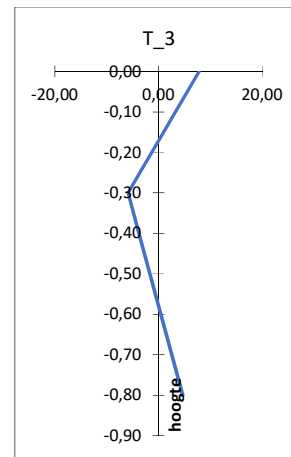
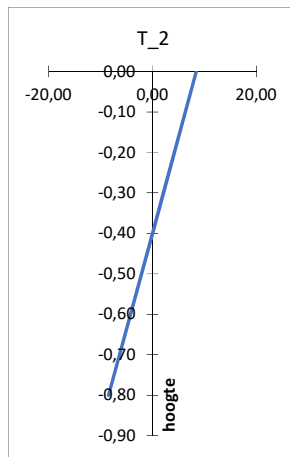
Temperatuurbelasting zomer

Asfaltdikte: 0 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: 20 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	20,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	3,75
-0,3	3,75
-0,4	3,75
-0,8	3,75



Hoogte	T_2
0,0	8,44
-0,3	2,11
-0,4	0,00
-0,8	-8,44

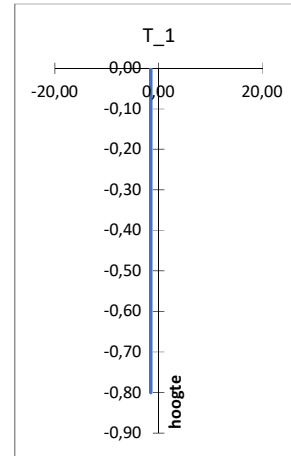
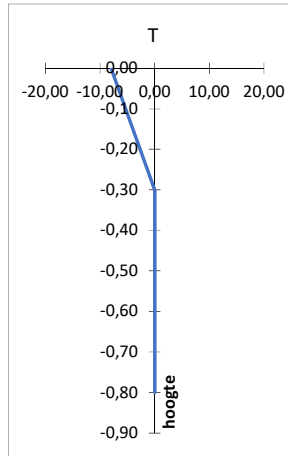
Hoogte	T_3
0,0	7,81
-0,3	-5,86
-0,4	-3,75
-0,8	4,69

Temperatuur bovenzijde: $T = 3,75 + 8,44 = 12,19$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = 3,75 + -8,438 = -4,69$ [graden Celsius]

Temperatuurbelasting winter

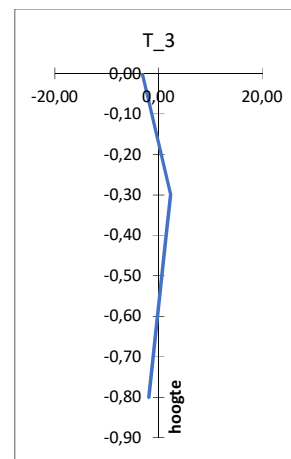
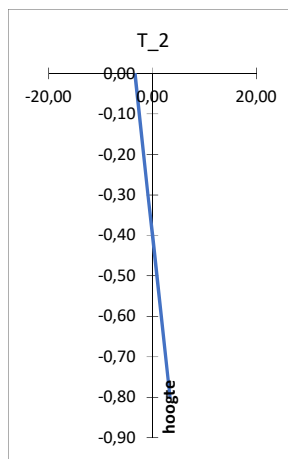
Asfaltdikte: 0 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: -8 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	-8,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	-1,50
-0,3	-1,50
-0,4	-1,50
-0,8	-1,50

Hoogte	T_2
0,0	-3,38
-0,3	-0,84
-0,4	0,00
-0,8	3,38



Hoogte	T_3
0,0	-3,13
-0,3	2,34
-0,4	1,50
-0,8	-1,88

Temperatuur bovenzijde: $T = -1,50 + -3,38 = -4,88$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = -1,50 + 3,38 = 1,88$ [graden Celsius]

3.7 Bovenbelasting op maaiveldniveau

Conform NEN-EN 9997-1 art. 2.4.2 wordt de volgende bewering aangehouden voor de bovenbelasting:

De stabiliteit, sterkte en vervormingen van constructies, zoals kelderwanden, kademuren en damwandconstructies, die naast een berijdbare strook terrein liggen, moeten ook zijn getoetst aan de eisen in de uiterste grenstoestand en in de bruikbaarheidsgrenstoestand met gronddrukken die voortkomen uit de volgende karakteristieke waarden van de terreinbelasting (p), aangrijpend over de volle lengte van de wand en over een zone van ten minste 20 m breed:

$$p_k = 20 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Met een neutrale gronddrukfactor $k_0 = 0,5$ volgt:

$$p_k = k_0 * p_k = 10 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Deze belasting is van boven naar beneden verlopend tot 0 kN/m² aangehouden in de aansluiting met de vloer.

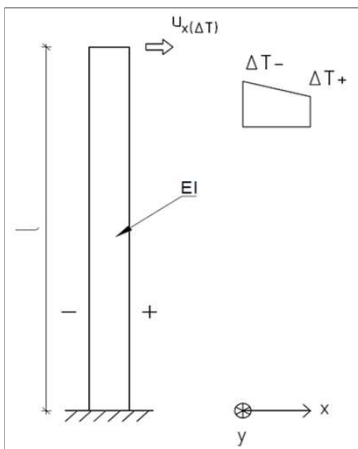
3.8 Opspaneffect

In de tijd kan door fluctuerende temperaturen en eventuele waterstanden de grondruk oplopen tot hogere waarden dan verondersteld wordt op basis van neutrale grondruk. Voor de wanden van de open moten wordt om deze reden rekening gehouden met het opspaneffect.

Verondersteld is dat het opspannen zich enkel voordoet ten gevolge van jaarlijkse thermische belasting, en daarmee enkel de situatie "opwarmen" omdat deze belasting zorgt voor beweging van de wand tegen de grond in (passieve grondruk).

Horizontale uitwijking t.g.v. de thermische belasting

Doordat de wand thermisch belast wordt zal deze inkrimpen in de winter en uitzetten in de zomer. Daar beide zijden van de wand niet gelijkmatig thermisch belast worden zal dit proces een kromming aan de wand geven. De kromming zorgt voor een een horizontale uitwijking, De zogenaamde kopverplaatsing.



Afleiding $u_x(\Delta T)$:

$$\Delta T = \Delta T_- - \Delta T_+$$

$$\varphi_y = \frac{M_T * l}{EI}$$

$$u_x = \frac{M_T * l^2}{2EI}$$

$$\text{Constante kromming: } K = \frac{M_T}{EI} \rightarrow \frac{\varepsilon_{T-} - \varepsilon_{T+}}{h}$$

$$\varepsilon_{T-} - \varepsilon_{T+} = \alpha \Delta T$$

$$u_x = \frac{M_T * l^2}{2EI} = \frac{K * EI * l^2}{2EI} = \frac{K * l^2}{2} = \frac{\alpha \Delta T * l^2}{2h}$$

Figuur 3.4: Horizontale uitwijking

α	=	horizontale uitwijking van de wand;
u_x	=	horizontale uitwijking van de wand;
v	=	kopverplaatsing van de wand;
u_x	=	v (invoerwaarde passieve gemobiliseerde grondruk).

Invoerwaardes:

T_-	=	-5	[°C]
T_+	=	10	[°C]
l	=	5	[m]
h	=	0,5	[m]
α	=	0,00001	[-]
u_x	=	-3,75	mm

Na bestudering van het SCIA Engineer model, is de conclusie getrokken dat de berekening u_x voor de casus niet juist is. In deze berekening is gesteld dat de rotatieveer, in de aansluiting tussen de wand en de vloer, oneindig stijf is. Dit in de realiteit niet het geval, waardoor er een afwijking zit tussen de berekening en het model. De uitwijking volgens de berekening is -3,75 mm, terwijl het model -20,6 mm als uitkomst geeft. Dit is een factor 5,5 verschil waarmee de berekende uitwijking mee vermenigvuldigd zal worden.

$$u_{x, \text{modellering, SCIA}} = -20,63 \text{ mm}$$

Passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt

De formule voor de passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt is als volgt:

$$K_{ph} = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{0.5})^2$$

K_{ph}	=	passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt	[-]
ϕ	=	hoek van inwendige wrijving	[°]
δ	=	wandwrijvingshoek	[°]

De grondsoort in het beschouwde gebied.

Grondsoort:	Zand
γ_{dry}	18 kN/m ³
γ_{sat}	20 kN/m ³
γ_{water}	10 kN/m ³
ϕ	30 °
δ	-20 °

$$K_{ph} = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{0.5})^2 = 5,74 \quad [-]$$

Passieve gemobiliseerde gronddruk

Als gevolg van fluctuerende temperaturen en eventuele waterstanden moet bij vrij uitkragende wanden het oplopen van gronddruk tot hogere waarden in de loop der tijd als volgt in rekening gebracht worden:

Voor de passieve gemobiliseerde gronddruk geldt:

$$K_{ph, \text{mob}} = K_0 + (K_{ph} - K_0) * (v/z) / (a + v/z)$$

Waarin:

$K_{ph, \text{mob}}$	=	horizontale gronddrukcoëfficiënt als gevolg van het opspaneffect;	[-]
K_0	=	neutrale gronddrukcoëfficiënt;	[-]
K_{ph}	=	passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt	[-]
v	=	kopverplaatsing van de wand	[m]
z	=	diepte gemeten vanaf de bovenzijde van de wand;	[m]
a	=	parameter die afhankelijk is van de pakking van het zand.	[-]

Let op: In de ROK 1.4 is de parameter "v" een functie van de diepte. Dit is niet in overeenstemming met een rapportage over de Duitse en Engelse methode. De Duitse methode wordt aangehouden waaruit voortkomt dat "v" feitelijk de kopverplaatsing is.

De parameter a varieert tussen 0,01 voor vastgepakt zand en 0,1 voor los gepakt zand. Voor in lagen verdicht zand kan a = 0,03 worden aangehouden. Als de gronddruk ongunstig werkt, moet voor de belastingsfactor voor gevolgklasse 2 een waarde van 1,5 worden aangehouden; voor gevolgklasse 3 is dit 1,65. Voor de partiële gronddrukcoëfficiënt moet, als de druk gunstig werkt, een waarde van 1,0 worden aangehouden. Voor de grootte van de momentaanfactoren voor de combinatie van de belastingen als gevolg van het opspaneffect en alle variabele belastingen geldt $\psi = 1$.

De neutrale gronddrukfactor k_0 wordt bepaald aan de hand van de hoek van inwendige wrijving. $k_0 = 1 - \sin(\phi)$.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi) = 0,5 \quad [-]$$

$$a = 0,03 \quad [-]$$

Opspaneffect

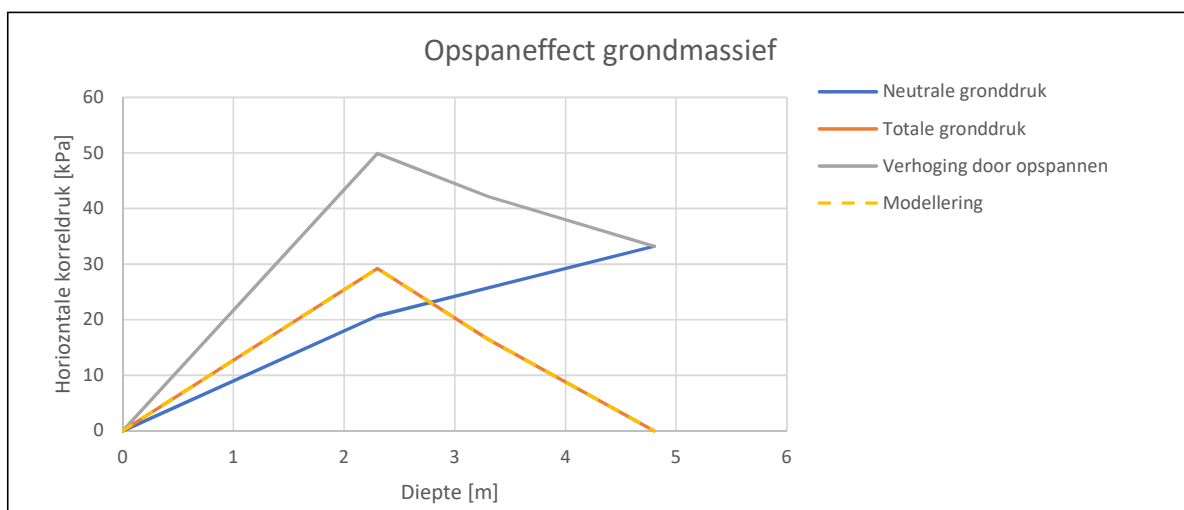
Het opspaneffect is het verschil tussen de neutrale gronddruk en de verhoging door het opspaneffect.

Tabel 3.6: opspaneffect

	Peil (m + NAP)	$P_{korrel,v,tot}$ (kN/m ²)	$P_{korrel,h,tot}$ (kN/m ²)	Diepte z (m)	Kopverplaatsing v (m)	$K_{ph,mob}$ (-)	Verhoging (kN/m ²)	Totale gronddruk (kN/m ²)
Maaiveld	39,8	0	0	0	0,0206	0,00	0,00	0,00
GHG	37,5	41,4	20,7	2,3	0,0107	1,21	49,91	29,21
GLG	36,5	51,4	25,7	3,3	0,0064	0,82	42,15	16,45
o.k. vloer	35	66,4	33,2	4,8	0,0000	0,50	33,20	0,00

In de grafiek is dit effect de totale gronddruk genoemd.

De berekening voor het opspaneffect is gemaakt conform ROK 1.4 art. 9.5.4.



Figuur 3.5: Opspaneffect

3.9 Mechanische verdichten

Bij de bepaling van de gronddruk op de achterzijde van de wand moet, conform NEN 9997 art. 9.5.5, rekening zijn gehouden met bijkomende drukkzen, veroorzaakt door het eventueel aanbrengen van aanvullingen en de daarbij gebruikte verdichtingsmethoden.

De extra gronddrukken achter de grondkerende constructie ten gevolge van verdichting van de aanvulgrond, hoeven niet te zijn opgeteld bij de gronddrukken die het gevolg zijn van later werkende bovenbelasting door verkeer en opslag.

Conform CUR Aanbeveling 166 art. 3.2.10 bedraagt de belasting ten gevolgen van mechanisch verdichten:

$$\Delta p_{kd} = 0,4 \cdot b_{tril} \cdot (k_p - k_0) \cdot \gamma_{dry}$$

Waarbij wordt uitgegaan van een trilplaat met breedte: $b_{tril} = 0,8 \text{ m}$

Vanuit de geotechnische gegevens zijn de waardes voor k_p en k_0 gegeven.

$$k_p = 5,74 \quad k_0 = 0,5$$

$$\Delta p_{kd} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot (5,74 - 0,5) \cdot 18 = 30,17 \text{ kN/m}^2$$

3.10 Sneeuwbelasting

De sneeuwbelasting op de open tunnelbak dient bepaald te zijn conform NEN-EN 1991-1-3. In Nederland wordt er te allen tijde gerekend met sneeuwbelasting voor blijvend/tijdelijke ontwerpsituaties (EN1991-1-3/NB art. 5.2(3)).

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

Waarbij:

μ_i	=	0,8	Conform EN1991-1-3 - Tabel 5.2
C_e	=	1,0	Conform EN1991-1-3/NB - art. 5.2(7)
C_t	=	1,0	Conform EN1991-1-3/NB - art. 5.2(8)
s_k	=	0,7	Conform EN1991-1-3/NB - art. 4.1

$$s = 0,56 \text{ kN/m}^2 \text{ Over de gehele constructievloerbreedte}$$

De sneeuwbelasting wordt niet meegenomen in de belastingcombinaties, aangezien NEN-EN 1990 - Tabel NB.16 voorschrijft dat sneeuwbelasting niet gecombineerd wordt met andere variabele belastingen (gelijktijdigheidregel). De sneeuwbelasting is zodanig klein dat deze niet maatgevend is.

4 Grendstoestanden en belastingcombinaties

De bruikbaarheidsgrenstoestand en de uiterste grenstoestand van een constructie dienen te worden getoetst. NEN-EN 1990-1-1 onderscheidt de volgende vier uiterste grenstoestanden:

- EQU: Beschouwing van het statisch evenwicht van de constructie;
- STR: Heeft betrekking op de sterkte van de constructie. Er wordt getoetst op intern bezwijken en buitensporige vervormingen van de constructie of een constructieonderdeel;
- GEO: Staat voor het bezwijken van de constructie ten gevolge van buitensporige vervorming van de ondergrond;
- FAT: Een constructie of constructieonderdeel toetsen op vermoeiing.

4.1 Uiterste Grenstoestanden

Conform NEN-EN 1990-1-1 art. 6.4.3.2. en Tabel NB.12 - A2.4(B) is voor de uiterste grenstoestand gebruik gemaakt van de uitdrukkingen 6.10 en 6.10 b.

Vergelijking 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Vergelijking 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

In vergelijking 6.10a worden de blijvende belastingen maximaal in rekening gebracht, terwijl in vergelijking 6.10b juist de overheersende veranderlijke belasting maximaal op de constructie wordt gezet. De ongunstigste van beide uitdrukkingen moet worden gebruikt. Bij een buitengewone ontwerpsituatie (ACC) moet de belangrijkste veranderlijke belasting zijn genomen met zijn frequente waarde en de overige veranderlijke belasting met de quasi-blijvende waarde.

In navolging van NEN-EN 1992-1-1 art. 2.3.1.2 volgt voor betonconstructies dat temperatuurbelasting alleen in de bruikbaarheidsgrenstoestand hoeft te worden meegenomen.

De buitengewone belastingcombinatie wordt bepaald conform NEN-EN 1990 art. 6.4.3.3. (2) formule 6.11b

Vergelijking 6.11b

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

De buitengewone belastingcombinatie wordt gebruikt bij buitengewone ontwerpsituaties zoals schok, brand of noodherstel na een buitengewoon voorval of buitengewone toestand.

De laatste uiterste grenstoestand is vermoeiing. Van belang is de maximale spanningswisseling die op kan treden. Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.8.3. volgt het minimale spanningsniveau uit de belastingcombinatie (gelijk aan de frequente combinatie (vergelijking 6.15b)), waarbij de veranderlijke belastingen een niet wisselend karakter hebben.

De vloer van de onderdoorgang is direct bereden en op staal gefundeerd (bedding van de ondergrond betrekkelijk stijf). Om deze reden zullen spanningswisselingen in het beton en wapening ten gevolge van mobiele belasting beperkt zijn en is een controle op vermoeiing niet uitgevoerd.

4.2 Bruikbaarheidsgrenstoestand

Bij het toetsen van de bruikbaarheidsgrenstoestanden dienen de uitdrukkingen 6.14a t/m 6.16b te worden gebruikt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende combinaties, de karakteristieke, frequente en quasi blijvende belastingcombinatie. Welke belastingcombinatie gebruikt wordt hangt af van hetgeen waarop getoetst wordt. De karakteristieke combinatie wordt gebruikt voor een eenmalige doorbuigingscontrole. De quasi-blijvende combinatie wordt gebruikt voor de permanente doorbuiging en de frequente combinatie wordt gebruikt bij het toetsen op scheurvorming

Karakteristieke combinatie (vergelijking 6.14b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Frequente belastingcombinatie (vergelijking 6.15b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Quasi-blijvende combinatie (vergelijking 6.16b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

4.3 Belastingsfactoren

De belatingsfactoren zijn aangehouden conform NEN-EN 1990-1-1 - NB.13-A2.4(B) Deze belastingsfactoren zijn geldig voor wegverkeersbruggen. In hoofdstuk invoergegevens dient een gevolgklasse (CC1, CC2 of CC3) gekozen te worden. Aan de hand van deze gevolgklasse worden de belastingsfactoren bepaald (figuur 4.1).

Tabel NB.13 – A2.4(B) — Belastingsfactoren voor wegverkeersbruggen en bruggen voor langzaam verkeer en voetgangers- en fietsbruggen STR/GEO) (groep B)

Gevolgklasse	β	G			Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,j,sup}$		$\gamma_{G,j,inf}$		
		6.10a	6.10b (incl. ξ)	6.10a en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,20	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,35	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,5	1,65

$\gamma = 0$ voor gunstig werkende veranderlijke belastingen

Voor γ zie de aanbevelingen in de desbetreffende materiaalgebonden Eurocodes 1992 t.m. 1999.

Voor de berekening van het effect van ongelijkmatige zettingen geldt dat $\gamma_{G,set} = 1,20$ in het geval van een lineaire berekening en $\gamma_{G,set} = 1,35$ in het geval van een niet lineaire berekening. Gunstig werkende zettingsverschillen worden niet in rekening gebracht. De grootte van de zettingen is bepaald op basis van de karakteristieke belastingcombinatie en de karakteristieke waarden voor de grondeigenschappen.

OPMERKING De factor K_{FI} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.

Figuur 4.1: Belastingsfactoren voor wegverkeersbruggen

4.4 Combinatiefactoren

Voor de aan te houden ψ -factoren wordt gebruik gemaakt van tabel NB.9 - A.2.1 van de NEN-EN 1990/NB ψ -factoren voor bruggen voor weg- en langzaam verkeer. (tabel 4.1)

De ψ -factoren combineren de variabele belasting met de verschillende belastingcombinaties.

Hierbij geldt:

$\psi_0 \times Q_i$: Combinatiewaarde van de karakteristieke belasting Q_i .

$\psi_1 \times Q_i$: Frequente waarde van de karakteristieke belasting Q_i .

$\psi_2 \times Q_i$: Quasi-permanente waarde van de karakteristieke belasting Q_i .

Tabel 4.1: Combinatiefactoren Tabel NB.9 - A2.1

Combinatiefactoren	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkeersbelasting (LM1)	0,8	0,8	0,4
Verkeersbelasting (LM2)	0,0	0,8	0,0
Verkeersbelasting (LM4)	0,0	0,8	0,0
Bovenbelasting eind	0,8	0,8	0,4
Mechanisch verdichten	0,8	0,8	0,4
Opspaneffect	0,8	0,8	0,4
Thermische belasting	0,3	0,8	0,3
Sneeuwbelasting	0,0	0,0	0,0

In de uiterste grenstoestand mag voor ψ_2 voor thermische belasting de waarde 0 zijn aangehouden.

4.5 Resumerend overzicht (belastingcombinatiesleutel)

In tabel 4.2 zijn de waarde van de belastingfactoren en combinatiefactoren gegeven voor de, in hoofdstuk invoergegevens gekozen, gevolgklasse.

De belastingsfactoren, welke gegeven zijn in hoofdstuk invoergegevens zijn onderstaand opgesomd.

Gevolgklasse	=	CC2
6.10a	=	1,30
6.10b	=	1,20
6.10 gunstig	=	0,90
Var. Verkeer	=	1,35
Var. Overig	=	1,50

In het overzicht zijn enkel de beginwaardes gegeven van de belastingsfactoren en de combinatiefactoren. Deze zijn nog niet in combinaties verwerkt.

Tabel 4.2: Resumerend overzicht

Combinatiesleutel		Belastinggevallen										
CC2		Eigen gewicht	Rustende belasting	Korrel- en waterdrukken	Krimp en kruip	Verkeersbelasting (LM1)	Verkeersbelasting (LM2)	Bovenbelasting eind	Thermische belasting	Mechanisch verdichten	Opspanneffect	Bijzondere belasting
		PB	PB	PB	PB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	AC
	ULS - VLG 6.10A	1,30	1,30	1,30	0,00	1,35	1,35	1,50	0,00	1,50	1,50	1,00
	ULS - VLG 6.10B	1,20	1,20	1,20	0,00	1,35	1,35	1,50	0,00	1,50	1,50	1,00
	ULS - VLG 6.10A en 6.10B - gunstig	0,90	0,90	0,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	SLS - VLG 6.14B / 6.15B / 6.16B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0		-	-	-	-	0,80	0,00	0,80	0,30	0,80	0,80	-
ψ_1		-	-	-	-	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-
ψ_2		-	-	-	-	0,40	0,00	0,40	0,30	0,40	0,40	-



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage B2

Controle Eigen gewicht





Inhoudsopgave

1.	INLEIDING.....	1
2.	CONTROLE EIGEN GEWICHT.....	2
3.	LITERATUUR	4

1. Inleiding

SCIA Engineer berekend het eigen gewicht van de open tunnelbak. Echter dient het eigen gewicht vanuit SCIA Engineer voor een situatie gecontroleerd te worden.

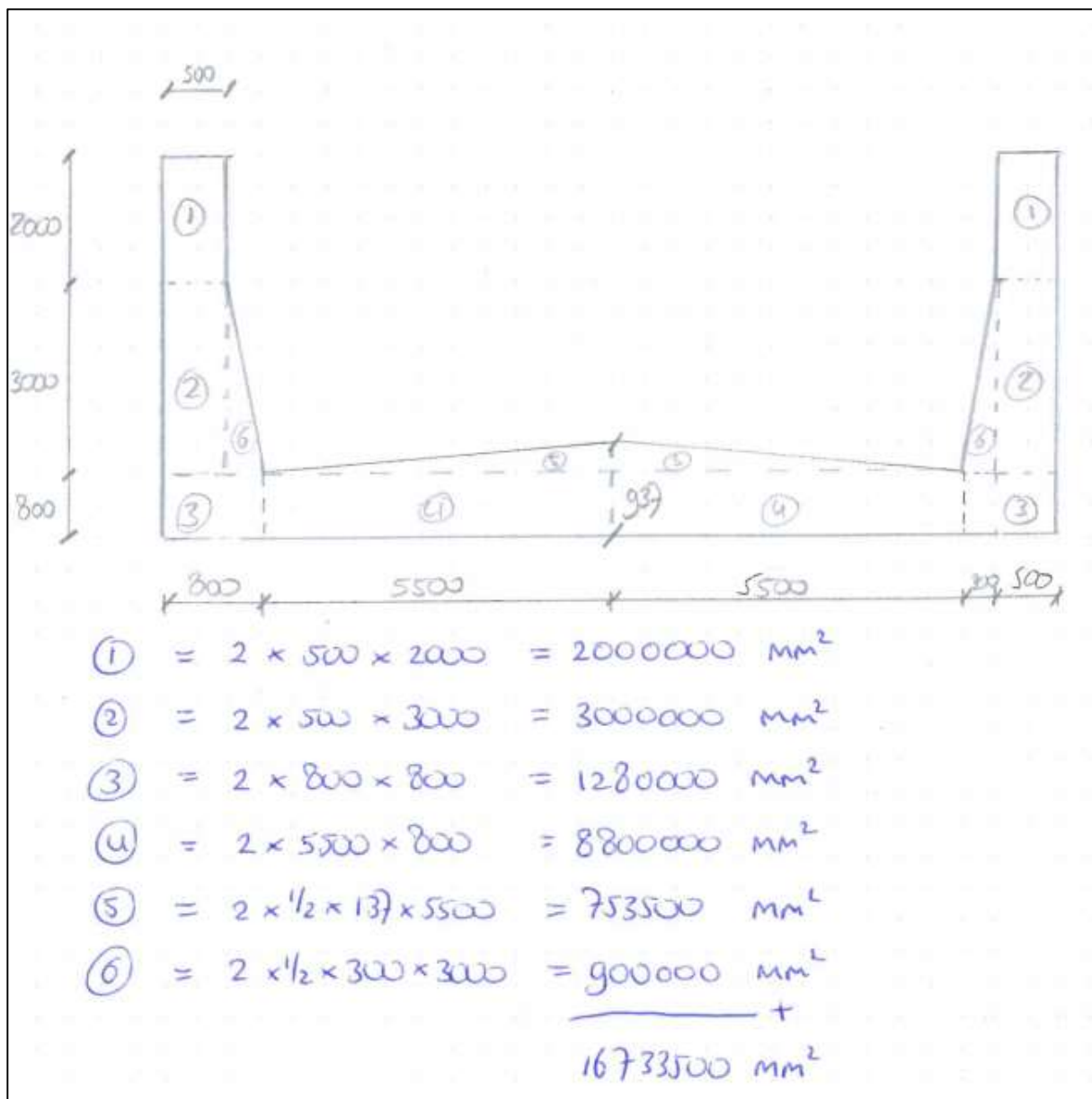
2. Controle eigen gewicht

De constructie wordt in SCIA Engineer zodanig gemodelleerd dat het eigen gewicht correct en volledig meegenomen wordt in de berekening. Zodoende wordt er niet gerekend met een belastinggeval eigen gewicht. Om de situatie correct te interpreteren wordt het eigen gewicht vanuit het SCIA Engineer model gecontroleerd aan de hand van een handberekening.

Als eerste wordt de gravitatieversnelling in SCIA Engineer op 10 m/s^2 gezet. Hierdoor wordt er met dezelfde randvoorwaarde gerekend als in de handberekening.

Conform NEN-EN 1991-1-1 – Tabel A.1 bedraagt het volumieke gewicht van gewapend beton 25 kN/m^3 (NEN, NEN-EN 1991-1-1+C1_2011 nl, 1991).

De geometrie van de opgegeven casus wordt opgesplitst in recht- en driehoeken (figuur 1), hierdoor wordt het oppervlakte van de open tunnelbak eenvoudig bepaald.

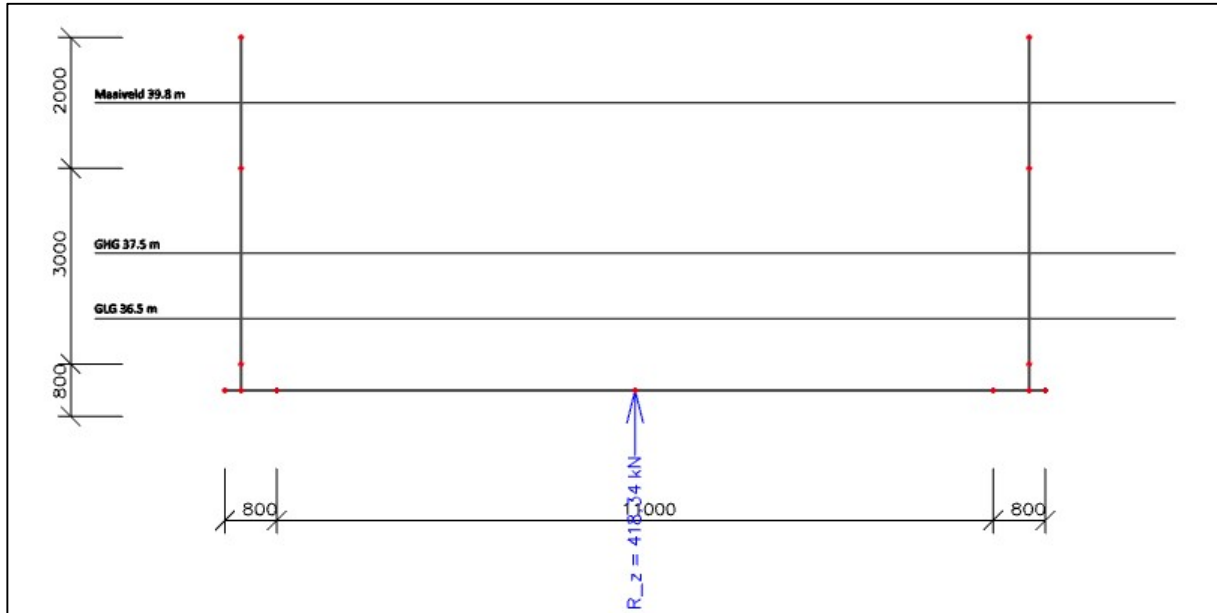


Figuur 1: Oppervlakteberekening open tunnelbak

Het oppervlakte bedraagt conform figuur 1: 16733500 mm^2 .

Het eigen gewicht bedraagt hierdoor: $F = A * \gamma_{\text{Beton}} = 25 * 16733500 = 418340 \text{ N} = 418.34 \text{ kN}$.

In figuur 2 is de resultaten vanuit SCIA Engineer weergegeven. Deze kracht bedraagt 418.34 kN.



Figuur 2: Controle eigen gewicht SCIA Engineer

Hiermee is het eigen gewicht, welke vanuit SCIA Engineer wordt berekend gecontroleerd met een handberekening (NEN, NEN-EN 1992-1-1+C1_2011 nl, 1991). Ook is nu aangetoond dat de berekening volgens SCIA Engineer correct is.

3. Literatuur

NEN. (1991). *NEN-EN 1991-1-1+C1_2011 nl*. NEN.

NEN. (1991). *NEN-EN 1992-1-1+C1_2011 nl*. NEN.



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage C1

Onderzoek spreiding verkeersbelasting





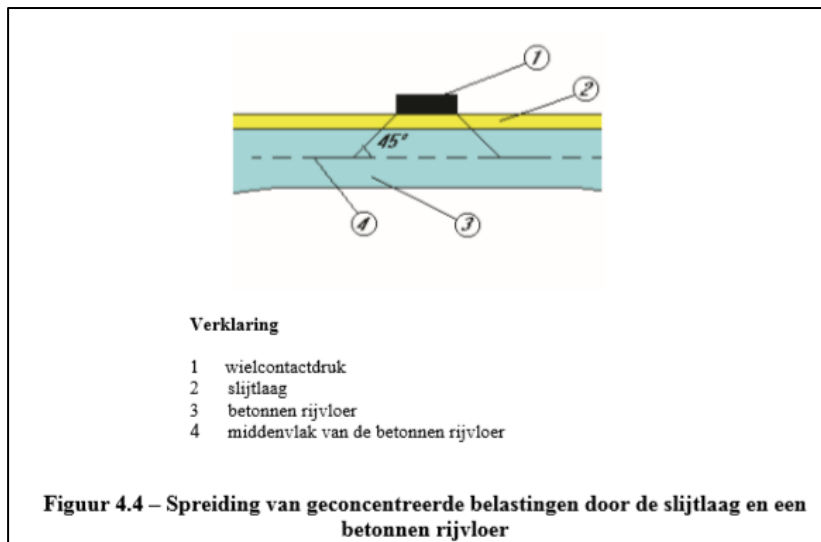
Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
2. SPREIDING WIELPRENT LASTMODEL 1	2
2.1 DYNAMISCHE BELASTING	4
2.2 BEVINDINGEN.....	4
3. CONCLUSIE	5
4. LITERATUUR.....	6

1. Inleiding

Vanuit de norm worden de wielafmetingen voorgeschreven (400x400 mm). Bij deze wielafmetingen hoort een bepaalde spreiding. Deze spreiding is in de norm echter conservatief aangenomen.

In "Bijlage B1 – Belastingen" wordt er gesteld dat de wielbelasting gespreid wordt conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.6. Dit betekent dat de belasting gespreid wordt onder een hoek van 45 graden (NEN, 1991). Zie figuur 1.



Figuur 1: Spreiding onder 45 graden tot middenvlak constructieve vloer

Vanuit Wagemaker wordt gesteld dat het gehele tandemstelsel in lengterichting extra wordt gespreid over een lengte van 4,0 meter. De wapening in de constructievloer wordt over 4,0 strekkende meter geactiveerd, om de belasting vanuit het tandemstelsel op te nemen.

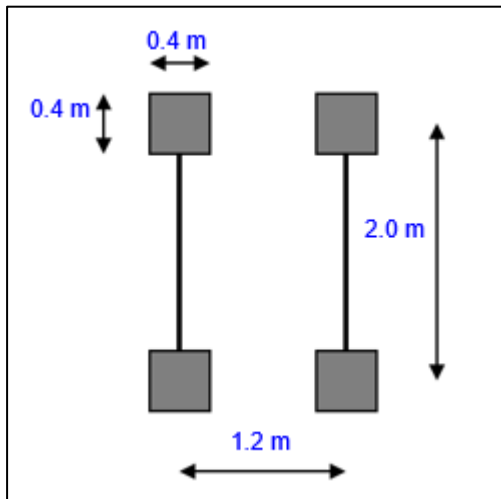
De waarde 4,0 is gebaseerd op ervaring en om aan te tonen dat deze waarde gebruikt mag worden, wordt een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar het tandemstelsel van lastmodel 1. Deze waarde mag gebruikt worden, wanneer het invloedgebied van het lastmodel gelijk is aan 4,0 strekkende meter.

De constructieve gegevens waarop het onderzoek gebaseerd wordt bedragen:

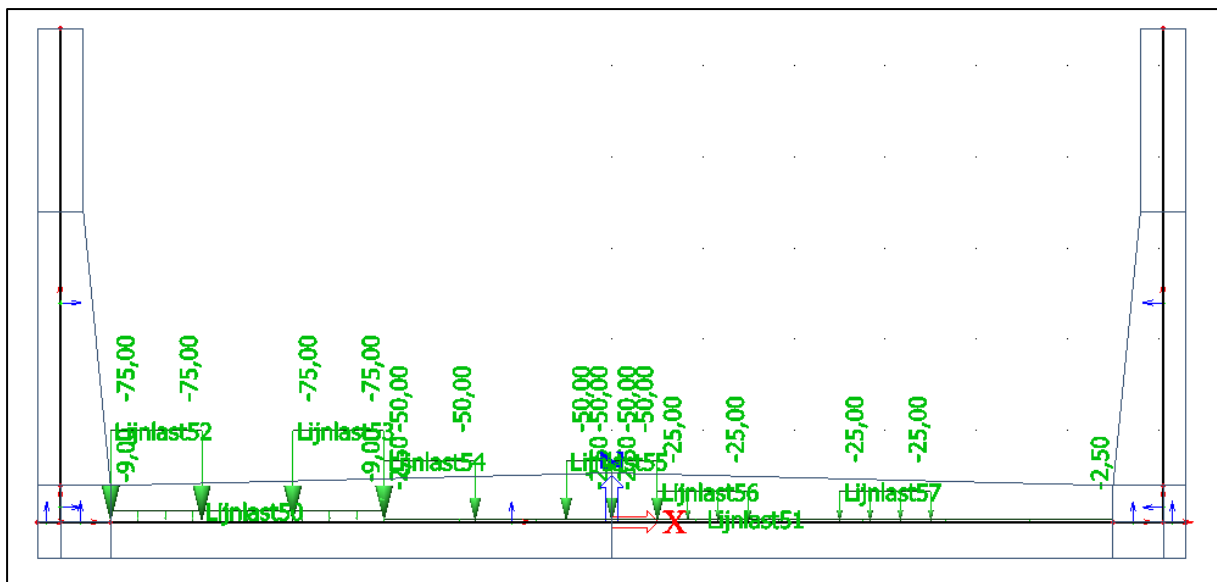
Vloerdikte	=	800 mm
Lengte moot	=	25 m
Dagmaat	=	11000 mm
Wanddikte	=	800 mm
K_v	=	50 MN/m ³
K_H	=	5 MN/m ³

2. Spreiding wielprent Lastmodel 1

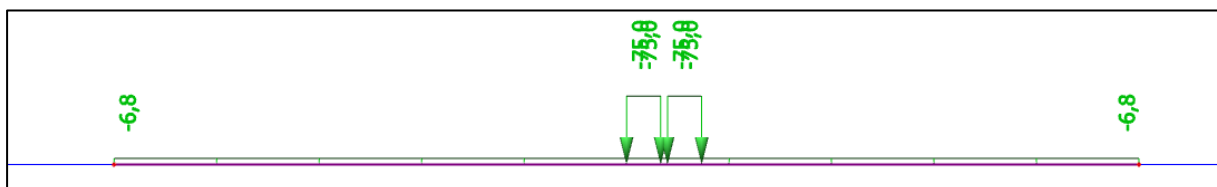
Lastmodel 1 bestaat uit een tandemstelsel met een viertal wielprenten (figuur 2) en een gelijkmatig verdeelde belasting. Dit tandemstelsel wordt in lengterichting in het 2D SCIA Engineer model gespreid als een belasting over 4 strekkende meter. De belasting in het 2D model is weergegeven in figuur 3 en figuur 4. Deze belasting is berekend met de wielspreiding van 4 meter in lengterichting.



Figuur 2: Tandemstelsel lastmodel 1

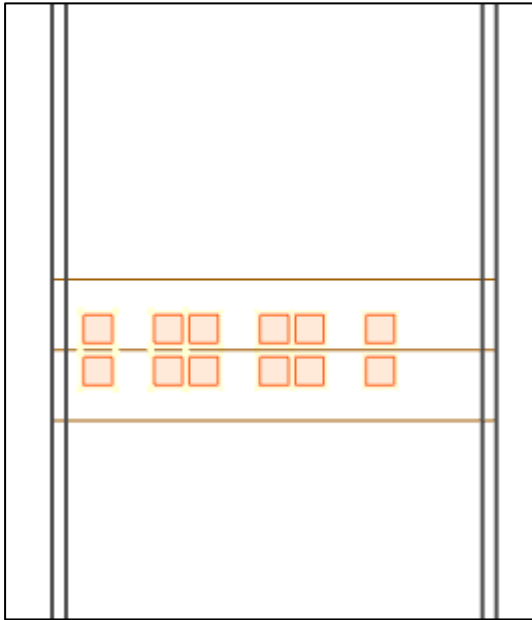


Figuur 3: Modelling in dwarsrichting



Figuur 4: Modelling in lengterichting

Om aan te tonen dat deze belasting in het 2D model juist gemodelleerd is, worden de wielprenten op een plaatmodel gemodelleerd. Hierin wordt een plaatmodel zodanig gemodelleerd dat deze recht doet aan de situatie (figuur 5). De situatie voldoet, wanneer het invloedgebied van het lastmodel gelijk is aan vier meter. In de situatie wordt de belasting opgenomen door vier strekkende meter constructievloer.



Figuur 5: Modelling spreiding wielprenten op plaatmodel

De ingevoerde belastingen op het plaatmodel zijn weggelaten, om het overzicht te bewaren. Zodoende zijn de waarden opgesomd in tabel 1. De belastingen zijn weergegeven van links naar rechts. Zodoende staat belasting 1 voor het linker tandemstelsel.

Tabel 1: Invoer SCIA Engineer

	Belastingmodel 1	
1	150	kN/m ²
2	100	kN/m ²
3	50	kN/m ²

In figuur 5 zijn een tweetal sneden weergegeven, welke geplaatst zijn op 2 meter vanaf het hart van de belasting. Zodoende is door deze sneden het invloedgebied weergegeven.

De wielprenten worden alleen in lengterichting extra gespreid. In theorie kunnen deze wielprenten ook in dwarsrichting gespreid worden. Echter gaan deze belastingen door de extra spreiding door elkaar lopen. Tandemstelsel 1 en tandemstel 2 staan namelijk conform de norm in het hart van een rijstrook van 3,0 meter. Figuur 2 geeft aan dat de wielprenten hart op hart 2,0 meter uit elkaar liggen. Dit betekent dat er aan weerszijde van de wielprenten 300 mm overblijft (wielprenten van 400 mm). Aangezien er voor het naastgelegen tandemstelsel dezelfde spreiding gehanteerd wordt, komen deze tandemstelsels tegen elkaar aan te liggen. Indien er een grotere spreiding gehanteerd wordt, lopen deze tandemstelsels door elkaar heen. Het praktische effect van een grotere spreiding is hierdoor niet aanwezig, waardoor deze spreidingen niet meegenomen worden.

2.1 Dynamische belasting

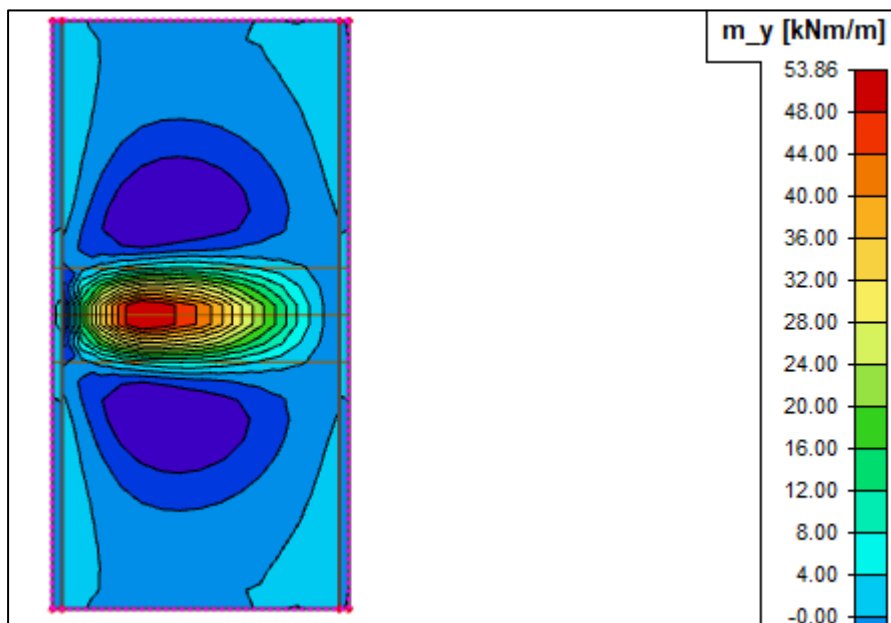
Omdat het om een dynamische belasting gaat, wordt de verticale beddingconstante groter aangenomen dan in de casus gegeven. Voor een dynamische belasting reageert de ondergrond, in dit geval een zandpakket, stijver, dan voor een statische belasting. Om deze reden wordt de ingevoerde bedding op 50 MN/m^3 gesteld, zodat er een juiste interpretatie van de werkelijkheid onderzocht wordt.

Een stijvere bedding zorgt ervoor dat de momenten in de vloerconstructie gereduceerd worden, doordat de verplaatsingen kleiner zijn ten opzichte van een slappere bedding.

In de berekening van de gehele tunnelbak in SCIA Engineer is het niet gewenst om voor een berekening een tweetal beddingen in te voeren. Het invoeren van twee beddingen is mogelijk, maar is in de praktijk erg omslachtig. Hierdoor wordt de bedding voor statische belastingen aangehouden: $K_v = 10 \text{ MN/m}^3$. Deze bedding resulteert in een groter optredend moment ten gevolge van de verkeersbelasting, dan wanneer een stijvere bedding toegepast is.

2.2 Bevindingen

Als eerste worden de momenten in de lengterichting (M_y) bekeken. In figuur 6 is duidelijk te zien dat het invloedgebied loopt over een lengte van vier strekkende meter.



Figuur 6: Momentenlijn y-richting

De momentenlijn in de x-richting wordt niet bekeken, omdat het onderzoek gaat over de spreiding in de lengterichting van de tunnelbak. Zoals eerder aangegeven, wordt de breedterichting niet gespreid.

Ook kunnen de wapeningsmomenten bekeken worden. Deze momenten zijn weergegeven in “Bijlage C2 – Onderzoek spreiding verkeersbelasting – uitvoer SCIA Engineer”. Ook hieruit blijkt dat het invloedgebied van 4 meter juist gekozen is.

3. Conclusie

Om een juiste interpretatie van de werkelijke situatie te maken, is de verkeerspreiding nader onderzocht. In de algemene berekening wordt een 2D-model opgesteld, voor een feitelijke 3D-situatie.

De voorgeschreven spreiding vanuit de norm blijkt zodoende conservatief te zijn. In het rekenprogramma SCIA Engineer is een plaatmodel opgesteld, waaruit blijkt dat de wapening over 4 strekkende meter constructievloer geactiveerd wordt. De belasting wordt door dit gedeelte afgedragen.

Ook wordt de bedding in de algemene berekening ongunstig ingevoerd. De optredende momenten ten gevolge van de verkeersbelasting zijn in werkelijkheid kleiner, dan de uitkomsten van SCIA Engineer. Dit komt doordat de bedding in werkelijkheid stijver reageert op een dynamische belasting.

Het invloedgebied van het lastmodel blijkt bij benadering over een lengte van 4 meter te verlopen. Hierdoor is de aanname, om het tandemstelsel over een lengte van deze 4 meter te spreiden gerechtvaardigd.

Het tandemstelsel wordt enkel over de lengterichting gespreid, omdat de spreiding in dwarsrichting zorgt voor samenvallende spreidingen. Hierdoor is de spreiding uit praktisch oogpunt niet aanwezig.

4. Literatuur

NEN. (1991). *NEN-EN 1992-1-1+C1_2011 nl*. NEN.



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage C2

Onderzoek spreiding verkeersbelasting – uitvoer SCIA Engineer





1. Project

Licentienaam	Avans Hogeschool
Project	Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten
Onderdeel	Bijlage C2
Omschrijving	Onderzoek spreiding verkeersbelasting
Auteur	J.Heijkoop
Datum	14-06-2018
Constructie	Algemeen XYZ
Aantal knopen :	16
Aantal staven :	0
Aantal platen :	5
Aantal vaste lichamen :	0
Aantal gebruikte doorsneden :	0
Aantal belastingsgevallen :	1
Aantal gebruikte materialen :	4
Gravitatieversnelling [m/s ²]	9,810
Nationale norm	EC - EN

Project Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten**2. Inhoudsopgave**

1. Project	1
2. Inhoudsopgave	2
3. Constructie	3
3.1. 2D-elementen	3
3.2. Materialen	3
3.3. 2D elementondersteuningen	3
3.4. 2D-element interne randen	3
4. Lastmodel 1	4
4.1. Belastingmodel 2 - Belasting	4
4.2. Vrije oppervlakte last	4
5. Resultaten basisgrootheden	5
5.1. Interne 2D-krachten; m_x	5
5.2. Interne 2D-krachten; m_y	5
5.3. Interne 2D-krachten; m_xy	5
5.4. 2D element - Interne krachten	6
6. Resultaten ontwerpeenheden	7
6.1. Interne 2D-krachten; m_xD+	7
6.2. Interne 2D-krachten; m_xD-	7
6.3. Interne 2D-krachten; m_yD+	8
6.4. Interne 2D-krachten; m_yD-	8
6.5. 2D element - Interne krachten	9

Project Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten**3. Constructie****3.1. 2D-elementen**

Naam	Laag	Type	Element type	Materiaal	Dikte type	D. [mm]
E2	Laag1	vloer (90)	Standaard	C35/45 - 0,5Ecm	constant	800
E30	Laag1	wand (80)	Standaard	C35/45 NO Mass	constant	800
E31	Laag1	wand (80)	Standaard	C35/45 - 0,5Ecm	constant	800
E32	Laag1	wand (80)	Standaard	C35/45 - 0,5Ecm	constant	800
E33	Laag1	wand (80)	Standaard	C35/45 NO Mass	constant	800

3.2. Materialen

Naam	Type	ρ [kg/m ³]	Dichtheid in natte toestand [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]	Kleur
C35/45 NO Mass	Beton	0,0	0,0	3,4100e+06	0.2	0,00	35,00	■
C35/45 - 0,5Ecm	Beton	2500,0	2600,0	1,7050e+04	0.2	0,00	35,00	■

Verklaring van symbolen

Dichtheid in natte toestand	De waarde van de dichtheid van het kenmerk nieuwe toestand wordt alleen gebruikt als een samengesteld dek wordt ingevoerd en rekening wordt gehouden met de belasting van het eigengewicht.
-----------------------------	---

Wapening EC2

Naam	Type	ρ [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	G_{mod} [MPa]	α [m/mK]	$f_{y,k}$ [MPa]
B 400A	Betonstaal	7850,0	2,0000e+05	8,3333e+04	0,00	400,0

3.3. 2D elementondersteuningen

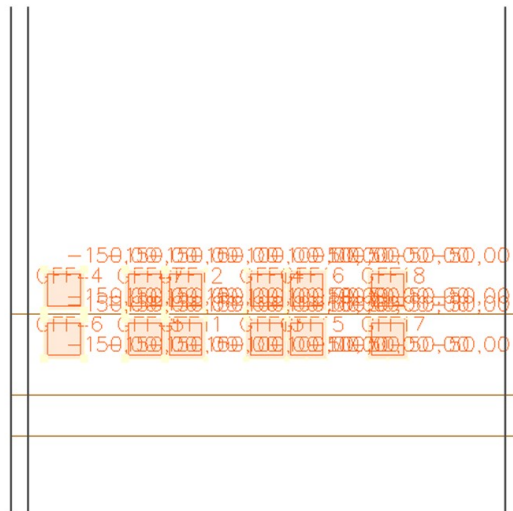
Naam	Type	Bedding	2D-element
SS3	Individueel	Sand/Clean/Stiff - NEN 6740	E2

3.4. 2D-element interne randen

Naam	2D-element 1	2D-element 2	Intersectie	Lengte [m]	Vorm	Knoop	Rand
Rand5	E2			25,000	Lijn	K29 K30	Lijn
Rand6	E2			25,000	Lijn	K31 K32	Lijn
Rand13	E2	E30	Inter3	25,000	Polylijn	K29 K30	Lijnstrook
Rand14	E2	E33	Inter4	25,000	Polylijn	K31 K32	Lijnstrook

4. Lastmodel 1

4.1. Belastingmodel 2 - Belasting



4.2. Vrije oppervlakte last

Naam	Belastingsgeval	Rich	Type	Verdeling	q [kN/m ²]	Geldigheid	Selecteer	Systeem	Locatie
FF7	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-150,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF8	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-150,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF9	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-150,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF10	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-150,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF11	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-100,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF12	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-100,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF13	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-100,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF14	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-100,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF15	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-50,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF16	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-50,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF17	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-50,00	Alle	Auto	GCS	Lengte
FF18	BG1	Z	Kracht	Gelijkmatig	-50,00	Alle	Auto	GCS	Lengte

Project Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten**5. Resultaten basisgrootheden****5.1. Interne 2D-krachten; m_x** **m_x [kNm/m]**Waardes: m_x

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

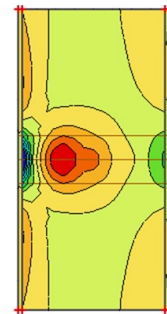
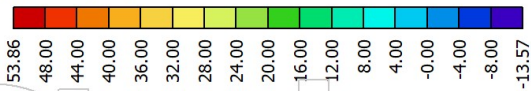
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Basis grootheden

Extreem: Staaf

**5.2. Interne 2D-krachten; m_y** **m_y [kNm/m]**Waardes: m_y

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

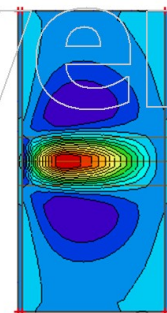
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Basis grootheden

Extreem: Staaf

**5.3. Interne 2D-krachten; m_{xy}** **m_{xy} [kNm/m]**Waardes: m_{xy}

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

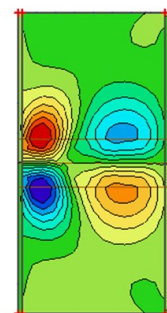
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Basis grootheden

Extreem: Staaf



Project Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten**5.4. 2D element - Interne krachten**

Lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : E2

Belastingsgevallen : BG1

Basis grootheden. In knopen, gem. op elem..

Staaf	elem	BG	mx [kNm/m]	my [kNm/m]	mxy [kNm/m]
E2	228	BG1	-79,43	-11,18	-4,16
E2	231	BG1	42,69	53,86	-1,04
E2	162	BG1	0,09	-13,57	-1,62
E2	201	BG1	4,38	1,62	-15,03
E2	271	BG1	4,38	1,62	15,03

6. Resultaten ontwerpeenheden

6.1. Interne 2D-krachten; m_{xD+}

Waardes: m_{xD+}

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

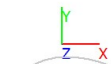
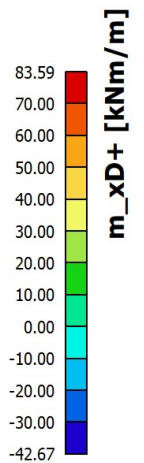
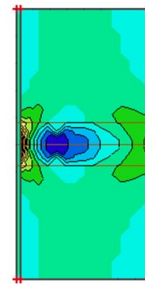
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Elementaire ontwerpgrootheden

Extreem: Staaf



6.2. Interne 2D-krachten; m_{xD-}

Waardes: m_{xD-}

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

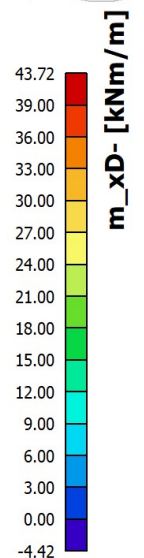
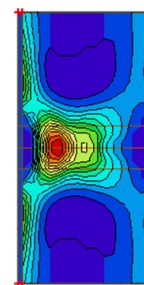
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Elementaire ontwerpgrootheden

Extreem: Staaf



Project **Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten****6.3. Interne 2D-krachten; m_yD+**Waardes: **m_{yD+}**

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

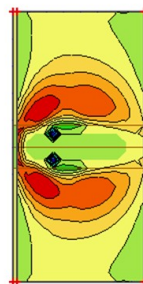
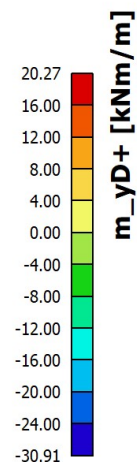
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Elementaire ontwerpgrontheden

Extreem: Staaf

**6.4. Interne 2D-krachten; m_yD-**Waardes: **m_{yD-}**

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Selectie: E2

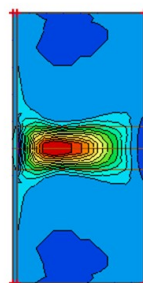
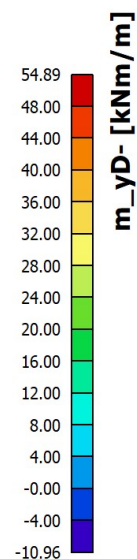
Filter: Laag = Laag1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: LCS net element

Elementaire ontwerpgrontheden

Extreem: Staaf



Project Ontwerp een open tunnelbak in 10 minuten**6.5. 2D element - Interne krachten**

Lineaire berekening, Extreem : Globaal

Selectie : E2

Belastingsgevallen : BG1

Elementaire ontwerpgrootheden. In knopen, gem. op elem..

Staaf	elem	BG	mxD+ [kNm/m]	myD+ [kNm/m]	mxD- [kNm/m]	myD- [kNm/m]
E2	231	BG1	-42,67	0,00	43,72	54,89
E2	228	BG1	83,59	15,33	0,00	-10,96
E2	217	BG1	0,00	-30,91	35,68	34,30
E2	187	BG1	12,80	20,27	15,16	7,69
E2	106	BG1	4,55	5,42	-4,42	0,00



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage D

Materiaaleigenschappen





Inhoudsopgave

1.	INLEIDING.....	1
2.	MATERIAALEIGENSCHAPPEN.....	2
2.1	BETON.....	2
2.2	BETONSTAAL.....	5
3.	MILIEUKLASSE EN BETONDEKKING	8
3.1	MILIEUKLASSE	8
3.2	BETONDEKKING	9
4.	LITERATUUR	12

1. Inleiding

Gewapend beton ontleent zijn vele toepassingsmogelijkheden aan de goede samenwerking tussen beton en staal. Een ingebetonnerde staaf is slechts met veel moeite uit het beton te trekken en heeft dus een goede aanhechting met het beton. De uitzettingscoëfficiënten van beton en staal komen goed overeen, zodat beide materialen door temperatuurinvloeden evenveel van lengte veranderen en er dus geen spanningen worden opgewekt.

Beton is goed in staat drukspanningen op te nemen, maar nauwelijks in staat om trekspanningen op te nemen. Om de trekspanning in het beton op te nemen, wordt betonstaal toegepast. In deze bijlage wordt een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de materiaaleigenschappen van beton en betonstaal.

Er wordt onderzoek uitgevoerd naar de druk- en treksterkte van zowel het beton als het betonstaal. Ook worden de elasticiteitsmodulus en de stijfheid behandeld. Als laatste wordt er onderzoek uitgevoerd naar de toe te passen dekking en milieuklasse.

Dit onderzoek is samengesteld op basis van NEN-EN 1992-1-1 'EuroCode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen', Cement en Beton 2: 'Constructieleer gewapend beton' en Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken ROK 1.4.

2. Materiaaleigenschappen

Voor het onderzoek worden alleen de materiaaleigenschappen van gewapend beton (beton en betonstaal) behandeld. Voor deze materialen zijn de partiële factoren opgesteld. Deze factoren zijn opgesteld conform NEN-EN 1992-1-1/NB – Tabel 2.1N (tabel 1).

Tabel 1: Partiële factoren

Tabel 2.1N – Partiële factoren van materialen voor uiterste grenstoestanden		
Ontwerpsituaties	γ_c voor beton	γ_s voor betonstaal
Blijvend en tijdelijk	1,5	1,15
Buitengewoon	1,2	1,0

2.1 Beton

Voor het construeren in beton zijn de mechanische eigenschappen, sterkte en stijfheid, van groot belang. De sterkte van beton wordt uitgedrukt in een sterkteklasse. De druksterkte is bepalend voor de klasse-indeling. Tot en met sterkteklasse C53/65 wordt van ‘regulier’ beton gesproken. Daarboven wordt er van ‘hogesterktebeton’ gesproken. Hogesterktebeton valt buiten de scope van het onderzoek (Cement en Beton, 2018).

De keuze welke betonsterkteklasse wordt toegepast, is afhankelijk van het ontwerp, de wijze van uitvoering en van de kosten; betonmengsels met een hogere sterkteklasse zijn namelijk duurder en vragen meer aandacht bij de verwerking.

2.1.1 Rekenwaarden van druk – en treksterkte

De rekenwaarde van de druksterkte van beton wordt bepaald door middel van de karakteristieke waarde en de bovengenoemde materiaalgegevens.

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ck}}{\gamma_c}$$

Door proefondervindelijke waarnemingen is waargenomen dat de druksterkte van beton na 28 dagen nog toeneemt met ongeveer 10 a 30%. Hier wordt op geanticipeerd door de coëfficiënt, welke rekening houdt met langeduureffecten op de druksterkte, $\alpha_{cc} = 1,0$ te hanteren (NEN-EN 1992-1-1/NB – art 3.1.6)

$$f_{cd} = \frac{1,0 * f_{ck}}{1,5}$$

De treksterkte van beton is aanzienlijk lager (1/10 tot 1/15) dan de druksterkte. Het bepalen van de treksterkte f_{ct} gebeurt door middel van een splijtproef. De gemiddelde treksterkte f_{ctm} wordt berekend vanuit de karakteristieke cilinderdruksterkte voor de sterkteklassen tot en met C50/60.

$$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{2/3} \quad \text{voor sterkteklasse} \leq C50/60$$

Voor de relatie tussen de gemiddelde en de karakteristieke cilinderdruksterkte geldt:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

De rekenwaarde van de treksterkte wordt bepaald aan de hand van de karakteristieke ondergrens $f_{ctk,0,05}$. Deze karakteristieke ondergrens is gelijk aan $0,7 * f_{ctm}$. De coëfficiënt α_{ct} bedraagt overeenkomstig met $\alpha_{cc} = 1,0$.

De rekenwaarde van de betontreksterkte bedraagt:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} * f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 * f_{ctk,0,05}}{1,5}$$

2.1.2 Betonsterkteklasse

Beton is verkrijgbaar in verschillende betonsterkteklasse, waarmee onder andere de druk- en treksterkte berekening mee worden uitgevoerd. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen regulier beton (tot en met C53/65), hogesterktebeton (vanaf C53/65 tot en met C90/105) en ultrahogesterktebeton (hogere sterktes). Voor ons onderzoek wordt er alleen onderzoek gedaan naar regulier beton. In tabel 2 zijn de betonsterkteklassen gegeven (Cement en Beton, 2018).

Tabel 2: Betonsterkteklasse

Sterkteklasse	f_{ck} [N/mm ²]	f_{cd} [N/mm ²]	f_{ctd} [N/mm ²]	f_{ctm} [N/mm ²]	E_{cm} [N/mm ²]	ϵ_{c3} [‰]	ϵ_{cu3} [‰]	ρ_{min} [%]	ρ_{max} [%]
C12/15	12	8,0	0,73	1,57	27100	1,75	3,50	0,13	0,62
C16/20	16	10,7	0,89	1,90	28600	1,75	3,50	0,13	0,82
C20/25	20	13,3	1,03	2,21	30000	1,75	3,50	0,13	1,03
C25/30	25	16,7	1,20	2,56	31500	1,75	3,50	0,13	1,29
C28/35	28	18,7	1,29	2,77	32300	1,75	3,50	0,14	1,44
C30/37	30	20,0	1,35	2,90	32800	1,75	3,50	0,15	1,55
C35/45	35	23,3	1,50	3,21	34100	1,75	3,50	0,17	1,80
C40/50	40	26,7	1,64	3,51	35200	1,75	3,50	0,18	2,06
C45/55	45	30,0	1,77	3,80	36300	1,75	3,50	0,20	2,32
C50/60	50	33,3	1,90	4,07	37300	1,75	3,50	0,21	2,58
C53/65	53	35,3	1,94	4,16	37800	1,75	3,50	0,22	2,12

De symbolen worden onderstaand verklaard:

f_{ck}	=	karacteristieke cilinderdruksterkte
f_{cd}	=	rekenwaarde van de cilinderdruksterkte (f_{ck}/γ_c)
f_{ctd}	=	rekenwaarde van de treksterkte
f_{ctm}	=	gemiddelde treksterkte
E_{cm}	=	elasticiteitsmodulus
ϵ_{c3}	=	elastische rek bij f_{cd}
ϵ_{cu3}	=	uiterste rek na plastisch vervormen
ρ_{min}	=	minimumwapeningsverhouding
ρ_{max}	=	maximumwapeningsverhouding

2.1.3 Elasticiteitsmodulus

De elasticiteitsmodulus van beton is een maat voor de stijfheid van het materiaal. De elasticiteitsmodulus, ofwel E_{cm} , is in verscheidene berekeningen benodigd voor zowel ongescheurd als gescheurd beton.

E_{cm} van ongescheurd beton heet ook wel E_{cm} korteduureffect

$t = 28$ dagen

E_{cm} van gescheurd beton heet ook wel E_{cm} langeduureffect

$t = \infty$ dagen

De elasticiteitsmodulus E_{cm} van ongescheurd beton, wordt volgens NEN-EN 1992-1-1 – art. 3.1.3 en tabel 3.1 bepaald uit:

$$E_{cm} = 22000 * \left[\frac{f_{cm}}{10} \right]^{0.3} = 22000 * \left[\frac{f_{ck} + 8}{10} \right]^{0.3}$$

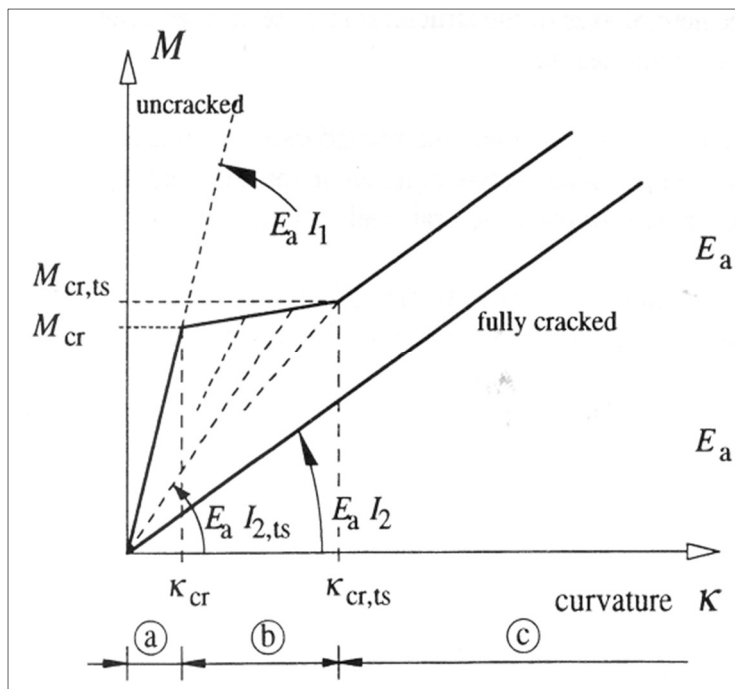
Deze formule mag alleen gebruikt worden bij kortdurende belastingen. Proefondervindelijk is bepaald dat deze formule een goede benadering is voor drukspanningen tot $0,4 f_{cm}$. Voor betonsterkteklasse C35/45 geeft dit een waarde van:

$$E_{cm} = 22000 * \left[\frac{f_{ck} + 8}{10} \right]^{0.3} = 22000 * \left[\frac{35 + 8}{10} \right]^{0.3} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

Als de doorsnede gescheurd is mag er gerekend worden met $E_{cm,\infty}$. De formule is als volgt:

$$E_{cm,\infty} = \frac{E_{cm}}{2 * \varphi(\infty, t_0)}$$

Om te begrijpen waar de waarde 2 zijn oorsprong vindt, is eerst inzicht nodig in het M- κ diagram van een ongescheurde en gescheurde doorsnede (TU Delft, 2018).



Figuur 1: M- κ diagram behorende bij een op buiging belasting staalbeton doorsnede

Verklaring figuur 1:

- Zone a ongescheurde zone
- Zone b initiële scheurvormingszone
- Zone c stabiele scheurvormingszone
- $E_a I_1$ stijfheid staalbeton doorsnede uitgaande van ongescheurd beton
- $E_a I_2$ stijfheid staalbeton doorsnede uitgaande van volledig gescheurd beton, waarbij het wapeningsstaal wordt belast

Als men de hoek tussen $E_a l_1$ en $E_a l_2$ meet, dan kan men waarnemen dat de hoek van $E_a l_1$ 2 maal zo groot is als de hoek van $E_a l_2$. Op basis van dit gegeven kan er gesteld worden dat de elasticiteitsmodulus van gescheurd beton ($E_{cm,\infty}$) 2 maal zo klein is als de elasticiteitsmodulus van ongescheurd beton (E_{cm}). Op basis hiervan kan de onderstaande formule opgesteld worden.

$$E_{cm,\infty} = \frac{E_{cm}}{2 * \varphi(\infty, t_0)}$$

Ten slotte moet waarde $\varphi(\infty, t_0)$ nog verklaard worden. Dit is de kruipcoëfficiënt die bepaald is in "Bijlage B1 – Belastingen". De gemiddelde, vaak arbitrair gekozen waarde ligt op 1,5. Dit geeft dat volgens de normen de formule voor $E_{cm,\infty}$ als volgt is:

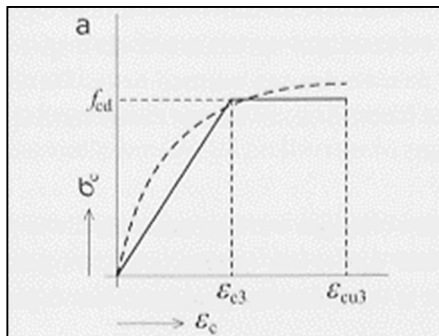
$$E_{cm,\infty} = \frac{E_{cm}}{2 * \varphi(\infty, t_0)} = \frac{E_{cm}}{2 * 1,5} = \frac{E_{cm}}{3}$$

Daarbij moet vermeldt worden dat Wagemaker het belastinggeval krimp en kruip als een aparte waarde invoert in SCIA Engineer en de berekeningen. Om deze reden gecombineerd met de opgelegde vervorming door thermische belasting, wordt de waarde $\varphi(\infty, t_0)$ uitgesloten in de formule voor $E_{cm,\infty}$. De definitieve formule is als volgt:

$$E_{cm,\infty} = \frac{E_{cm}}{2}$$

2.1.4 Spanning-rekdiagram

In figuur 2 is het spanning-rek diagram van beton gegeven. De vorm van de kromme komt overeen met de vorm van een parabool. Een rechtlijnig $\sigma - \varepsilon$ diagram is voor berekeningen veel eenvoudiger in het gebruik. De parabolische kromme wordt vereenvoudigd tot een tweetakkig rechtlijnig $\sigma - \varepsilon$ diagram, zoals weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: σ - ε diagram voor beton (CB2-Figuur 2.5)

Zo ontstaat een bilineair σ - ε diagram voor beton. Het eerste deel, de elastische tak, volgt tot ε_{c3} is bereikt. Dit is gebaseerd op de wet van Hooke. Het tweede deel, de plastische tak, wordt bepaald door $\sigma = f_{cd}$ en de grenswaarde van de betonstuik ε_{cu3} . De vervorming in de plastische tak is blijvend, dat wil zeggen dat deze vervorming niet verdwijnt na het ontlasten.

2.2 Betonstaal

Naast beton zijn voor het construeren in gewapend beton ook de mechanische eigenschappen van het betonstaal van groot belang. Dit betreft de sterkte en de taaiheid (ductiliteit), waarvan de sterkte ook hier het belangrijkste is. De materiaaleigenschappen van betonstaal worden bepaald aan de hand van een trekproef, waarbij een staaf in een trekbank tot breuk wordt belast.

2.2.1 Rekenwaarde druk – en treksterkte

De rekenwaarde van de vloeigrens f_{yd} is voor betonstaal bij trek en druk gelijk. Deze rekenwaarde wordt berekend aan de hand van de onderstaande formule.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Omdat de staalsterkte een kleinere spreiding vertoont dan de betonsterkte, mag met een materiaalfactor $\gamma_s = 1,15$ (tabel 1) worden gerekend. f_{yk} is hierin de karakteristieke waarde van de vloeigrens.

2.2.2 Materiaaleigenschappen betonstaal

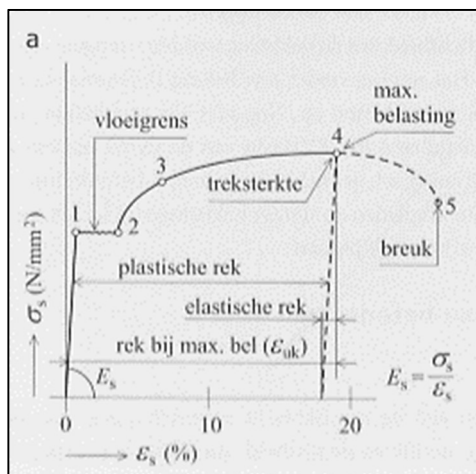
Betonstaal is in verschillende soorten te verkrijgen. Echter wordt er vooral gebruik gemaakt van betonstaal B500. Hierin is de karakteristieke vloeigrens 500 N/mm². Voor de volledigheid zijn een aantal soorten betonstaal opgesomd in tabel 3. Vroeger werd betonstaal B500 aangeduid als FeB500.

Tabel 3: Materiaaleigenschappen betonstaal

Betonstaalsoort	f_{yk} (trek)	f_{yk} (druk)	f_{yd}
FeB 220	220	220	191
FeB 400	400	400	348
B500	500	500	435

2.2.3 Spanning-rekdiagram

Het verband tussen de spanning en de vervorming wordt vastgelegd in een spanning-rekdiagram. Betonstaal heeft een elastische tak (0-1). Daarna volgt duidelijk het vloeitraject (1-2). Tijdens dit vloeitraject gaat het betonstaal vloeien. (zie figuur 3).



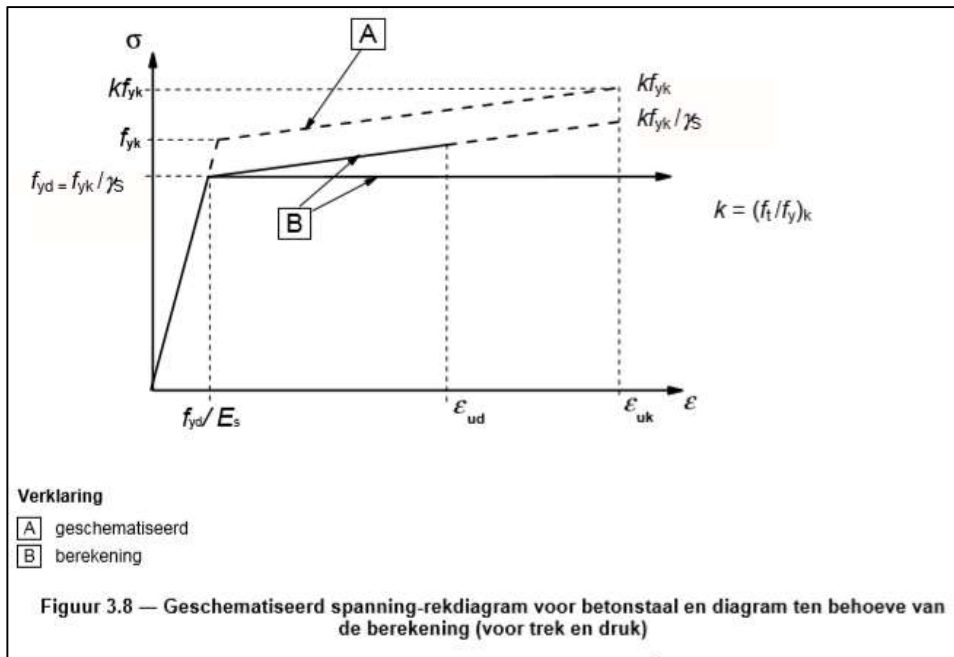
Figuur 3: $\sigma - \varepsilon$ diagram voor betonstaal (CB2-Figuur 2.7)

Om de materiaaleigenschappen van betonstaal beter toegankelijk te maken voor berekening, wordt het $\sigma - \varepsilon$ diagram voor betonstaal geschematiseerd tot een bilineair $\sigma - \varepsilon$ diagram conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 3.2.7.

Voor normale berekening mag een van de volgende aannamen zijn gedaan:

- Een hellende bovenste tak met een maximale rek ε_{ud} en een maximale spanning $k f_{yk} / \gamma_s$ bij ε_{uk} , waarin $k = (f_t / f_y) k$
- Een horizontale bovenste tak waarbij de maximale rek niet hoeft te zijn gecontroleerd.

Er wordt gekozen om een bovenste horizontale tak te hanteren, zodat de maximale rek niet gecontroleerd hoeft te worden (zie figuur 4).



Figuur 4: Geschematiseerd σ - ϵ diagram voor betonstaal

2.2.4 Elasticiteitsmodulus

Anders dan bij beton is de elasticiteitsmodulus van betonstaal eenvoudig te bepalen. De elasticiteitsmodulus geeft de verhouding tussen de spanning en de rek weer. Deze kan dan ook gevonden worden vanuit de volgende formule:

$$E_s = \frac{\sigma_s}{\epsilon_s}$$

Voor betonstaal geldt dat, conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 3.2.7 (4), de rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus voor alle betonstaalsoorten $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ bedraagt.

3. Milieuklasse en betondekking

De bescherming van betonstaal tegen corrosie is afhankelijk van de dichtheid, de kwaliteit en de dikte van de betondekking en van de aanwezige scheurvorming.

3.1 Milieuklasse

De constructie kan, naast mechanische belastingen, zijn blootgesteld aan chemische en fysische omstandigheden. De milieuomstandigheden zijn geclassificeerd conform NEN-EN 1992-1-1 – tabel 4.1. Deze tabel is gebaseerd op EN-206-1 (figuur 5).

Tabel 4.1 — Verband tussen milieuklassen en milieu-omstandigheden volgens EN 206-1		
Klasse-aanduiding	Beschrijving van het milieu	Informatieve voorbeelden waar de milieuklassen zich kunnen voordoen
1 Geen risico op corrosie of aantasting		
XD	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
2 Corrosie ingeleid door carbonatatie		
XC1	Droog of blijvend nat	Beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid Beton blijvend onder water
XC2	Nat, zelden droog	Betonoppervlakken langdurig in contact met water Veel funderingen
XC3	Matige vochtigheid	Beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid Beton buiten beschermt tegen regen
XC4	Wisselend nat en droog	Betonoppervlakken in contact met water, maar die niet onder milieuklasse XC2 vallen
3 Corrosie ingeleid door chloriden*		
XD1	Matige vochtigheid	Betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht
XD2	Nat, zelden droog	Zwembaden Beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater
XD3	Wisselend nat en droog	Bruggdelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater Verhardingen Vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen
4 Corrosie ingeleid door chloriden afkomstig uit zeewater		
XS1	Blootgesteld aan zout uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	Constructies bij of aan de kust
XS2	Blijvend onder zeewater	Delen van constructies in zee
XS3	Getijde-, spat- en stuifzones	Delen van constructies in zee
5 Aantasting door vorst/dooi-wisselingen		
XF1	Niet volledig verzadigd met water, zonder dooizouten	Verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	Niet volledig verzadigd met water, met dooizouten	Verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde dooizouten
XF3	Verzadigd met water, zonder dooizouten	Horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF4	Verzadigd met water, met dooizouten of zeewater	Wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten Betonoppervlakken blootgesteld aan direct gespreide dooizouten en vorst Spatzones van constructies in zee blootgesteld aan vorst
6 Chemische aantasting		
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

* Nationale voetnoot: EN 206-1 geeft hier aan, dat het gaat om corrosie ingeleid door chloriden anders dan afkomstig uit zeewater.

Figuur 5: Milieuklasse

Veel voorkomende milieuklassen voor tunnelbakken zijn: XC2, XC4, XD3, XF2 en XF4. Voor constructies in kustgebieden kan ook XS1 van toepassing zijn. Vaak worden meerdere milieuklasse gevonden. De maatgevende klasse dient in zo'n geval gebruikt te worden om de dekking te bepalen.

3.2 Betondekking

De betondekking dient om de wapening te beschermen tegen invloeden van buitenaf, zoals regenwater, grond, agressieve vloeistoffen of dampen of dergelijke, welke tot roestvorming op de wapening kunnen leiden. Ook zorgt de betondekking onder andere voor de krachtsoverdracht tussen het beton en de wapeningsstaven. De betondekking op de buitenste wapening wordt aangegeven met symbool c (cover).

Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 4.4.1, wordt de betondekking omschreven als de afstand tussen het oppervlak van de wapening en het dichtstbijzijnde betonoppervlak (inclusief beugels en huidwapening voor zover van toepassing).

De nominale dekking dient aangegeven te zijn op de tekeningen. Deze is gedefinieerd als een minimumdekking, c_{min} , die bij het ontwerp is vermeerderd met een uitvoeringstolerantie Δc_{dev} . $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$. Ook deze uitvoeringstolerantie wordt weergegeven op de tekeningen.

Een wapeningsstaaf in een agressief milieu vergt een betere bescherming, dus een grotere betondekking, dan een wapeningsstaaf in een droog milieu (geringe kans op roesten). De grootte van de betondekking hangt dus af van het milieu waarin de betonconstructie zich bevindt: de milieuklasse.

3.2.1 Minimale dekking

De minimale dekking moet zorgen voor:

- Een veilige overdracht van de aanhechtkracht;
- De bescherming van het staal tegen corrosie;
- Voldoende brandwerendheid.

De minimale dekking is de maximale waarde van het onderstaande:

- $c_{min,h}$;
- $c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}$;
- 10 mm.

$c_{min,h}$ bedraagt de minimale dekking op basis van de aanhechtingseis conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 4.4.1.2 (3).

Deze minimale dekking bedraagt voor afzonderlijke staven de diameter van de staaf.

$c_{min,dur}$ bedraagt de minimale dekking op basis van de milieuomstandigheden conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 4.4.1.2. (5). Deze waarde wordt afgelezen vanuit figuur 6 (tabel 4.4N betonstaal). De aanbevolen constructieve classificatie (ontwerplevensduur 50 jaar) bedraagt S4. De aanbevolen aanpassingen zijn weergegeven in figuur 7 (tabel 4.3N).

Conform ROK 1.4 – art. 4.4.1.2 (2) dient de betondekking, voor constructieonderdelen welke slecht inspecteerbaar zijn, met 5 mm te worden vermeerderd.

Conform R.O.K. 1.4. art. 4.4.1.2 (5) mag, voor vooraf te vervaardigde betonproducten (die minimaal voldoen aan NEN-EN 13369), voor milieuklassen XC1 t/m XC4 en XD1 t/m XD3 de minimumdekking

$c_{min,dur}$ worden verminderd met 5 mm indien, naast de eisen met betrekking tot de cementsoort in ROK par. 6.9.5.2.2, aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- De water-cementfactor of de water-bindmiddelfactor is kleiner dan of gelijk aan 0,45;
- 2/3 maal de grootste korrelafmeting D is niet groter dan de nominale betondekking c_{nom} .

Tabel 4.4N — Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{min,dur}$, met betrekking tot duurzaamheid voor betonstaal volgens NEN-EN 10080

Omgevingseisen voor $c_{min,dur}$ mm							
Constructie- klasse	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

Figuur 6: Waarden van de minimale dekkingseisen, $c_{min,dur}$

Tabel 4.3N — Aanbevolen constructieve classificatie

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

OPMERKING 1 Aangenomen is dat de sterkteklasse en de w/c-factor met elkaar verband houden. Een specifieke samenstelling (type cement, w/c-factor, fijne vulmiddelen) met de bedoeling een lage permeabiliteit te verkrijgen, mag zijn overwogen.

OPMERKING 2 De grens mag zijn verminderd met één sterkteklasse indien luchttoevoeging van meer dan 4 % is toegepast.

Figuur 7: Aanbevolen aanpassingen constructieve classificatie

De betondekking behoort te zijn vermeerderd met een aanvullende veiligheidsmarge $\Delta c_{dur,y}$.
De aanbevolen waarde bedraagt, conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 4.4.1.2 (6), 0 mm.

De waarde voor de reductie van de minimumdekking bij gebruik van roestvast staal ($\Delta c_{dur,st}$) bedraagt, conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 4.4.1.2 (7), 0 mm.

Voor een reductie van de minimumdekking bij gebruik van een aanvullende bescherming ($\Delta c_{dur,add}$) (bijvoorbeeld bekleding) wordt een waarde aanbevolen van 0 mm (NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 4.4.1.2 (8)).

Indien in-situ beton is gestort tegen andere betonelementen, mag de minimale betondekking van de wapening tot het contactoppervlak zijn verminderd tot een waarde overeenkomend met de aanhechtingseis ($c_{min,b}$) op voorwaarde dat:

- De sterkteklasse van het beton ten minste C25/30 bedraagt;
- Het betonoppervlak slecht kort (< 28 dagen) aan een buitenmilieu wordt blootgesteld;
- De tussenlaag is opgeruwd.

3.2.2 Toeslag uitvoeringstoleranties

Voor het berekenen van de nominale dekking, c_{nom} , moet de minimumdekking bij het ontwerp zijn vermeerderd om rekening te houden met uitvoeringstoleranties (Δc_{dev}). De vereiste minimumdekking moet zijn verhoogd met de absolute waarde van de aanvaarde negatieve afwijking.

De waarde van Δc_{dev} voor gebruik in een land bedraagt voor in-situ beton, conform R.O.K. 1.4 – art. 4.4.1.3 (1), ten minste 10 mm.

Indien is gegarandeerd dat een zeer nauwkeurig meetinstrument is gebruikt voor het monitoren van de betondekking, mag Δc_{dev} conform R.O.K. 1.4 – art. 4.4.1.3 (3) zijn gereduceerd met 5 mm.

Voor beton gestort tegen oneffen oppervlakken behoort de nominale dekking in het algemeen te zijn vermeerderd door het aanhouden van grotere ontwerptoleranties. De toename behoort in overeenstemming te zijn met het verschil veroorzaakt door de oneffenheid, maar de nominale dekking behoort ten minste k_1 mm te bedragen voor beton gestort op een voorbereide ondergrond en k_2 mm voor beton direct gestort of tegen de grond.

De waarden voor k_1 en k_2 zijn gegeven in de nationale bijlage:

$$k_1 > c_{min,dur} + 10 \text{ mm}$$

$$k_2 > c_{min,dur} + 50 \text{ mm}$$

4. Literatuur

Braam, d. i. (2011). *Constructieer Gewapend Beton* (Vol. Cement en Beton 2). Boxtel: AEneas, uitgeverij van vakinformatie bv.

Cement en Beton. (2018, 03 28). *Hogesterktebeton*. Opgehaald van Cement en Beton:
<http://www.cementenbeton.nl/materiaal/innovaties/hogesterktebeton>

TU Delft. (2018, 03 28). *Staalbetonbruggen hoofdstuk 4*. Opgehaald van Staalbetonbruggen:
<http://mstudioblackboard.tudelft.nl/staalbetonbruggen/staalbetonbruggen4/hfdstuk4.htm>



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage E

Berekeningsonderzoek





Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
2. WAPENINGSBEREKENING CONSTRUCTIEVLOER.....	2
2.1 HOOFDWAPENING – ULS – BUIGEND MOMENT EN NORMAALKRACHT.....	2
2.2 HOOFDWAPENING – SLS – SCHEURVORMING EN DOORBUIGING	5
2.3 HOOFDWAPENING - DETAILLERINGSREGELS.....	9
2.4 DWARSKRACHTWAPENING – ULS – DWARSKRACHT EN NORMAALKRACHT	13
2.5 DWARSKRACHTWAPENING - DETAILLERINGSREGELS	15
3. WAPENINGSBEREKENING WANDEN	16
3.1 HOOFDWAPENING – ULS – BUIGEND MOMENT	16
3.2 HOOFDWAPENING – SLS – SCHEURVORMING EN DOORBUIGING	19
3.3 HOOFDWAPENING – HORIZONTALE RICHTING.....	22
3.4 HOOFDWAPENING – DETAILLERINGSREGELS	24
3.5 DWARSKRACHTWAPENING – ULS – DWARSKRACHT.....	25
3.6 DWARSKRACHTWAPENING – DETAILLERINGSREGELS	26
4. OPDRIJVING.....	27
4.1 AANDRIJVENDE BELASTING.....	27
4.2 RUSTENDE BELASTING	27
4.3 BELASTING FACTOREN	27
5. VOORBEELDBEREKENING	28
5.1 UITGANGSPUNTEN	28
5.2 BELASTINGEFFECTEN.....	28
5.3 CONTROLE SNEDE ULS – BUIGEND MOMENT EN NORMAALKRACHT.....	28
5.4 CONTROLE SNEDE SLS – BUIGEND MOMENT EN NORMAALKRACHT.....	31
6 LITERATUUR	34

1. Inleiding

In deze bijlage wordt de gehele constructieve berekening behandeld. De wapeningsberekening voor de constructievloer en de wanden worden beschouwd in de uiterste grenstoestand (ULS) en de bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS). Ook worden de detailberekeningen, zoals verankerings- en overlappingslengte, uitgewerkt.

Dit onderzoek is samengesteld op basis van NEN-EN 1992-1-1 'EuroCode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen', NEN-EN 1992-2 'EuroCode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Betonnen bruggen - Regels voor ontwerp, berekening en detaillering', Cement en Beton 2: 'Constructieel gewapend beton' en Cement en Beton 4 'Ontwerpen in gewapend beton'.

In hoofdstuk 2 wordt de constructievloer behandeld. In hoofdstuk 3 worden de wanden besproken, waarna in hoofdstuk 4 de constructie gecontroleerd wordt ten behoeve van de opdrijving (UPL). Als laatste wordt één berekening uitgewerkt om een en ander toe te lichten.

2. Wapeningsberekening constructievloer

De berekeningsmethodiek voor de constructievloer, wordt onderzocht in zowel de ULS als de SLS. Voor de uiterste grenstoestand (ULS) dient het buigend moment + normaalkracht en dwarskracht + normaalkracht gecontroleerd te worden. In de bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS), dienen de scheurvorming en de doorbuiging gecontroleerd te worden.

Om de vloer constructief te berekenen dienen de volgende wapeningsoppervlaktes gedimensioneerd te worden.

- Hoofdwapening dwarsrichting bovenzijde (1^e laag)
- Hoofdwapening dwarsrichting onderzijde (1^e laag)
- Hoofdwapening dwarsrichting aansluiting wand (1^e laag)
- Verdeelwapening langsrichting bovenzijde (2^e laag)
- Verdeelwapening langsrichting onderzijde (2^e laag)
- Dwarskrachtwapening

Omdat de hoofdwapening en verdeelwapening in beginsel berekend wordt via dezelfde berekeningsmethodiek, zal deze maar eenmaal uitgeschreven worden.

2.1 Hoofdwapening – ULS – Buigend moment en normaalkracht

Om de benodigde buigtrekwapening te bepalen, dienen de momenten en normaalkrachten uit het rekenprogramma SCIA Engineer bepaald te worden. De benodigde buigtrekwapening wordt bepaald door het buigend moment en de normaaldruk- of normaaltrekkracht.

De wapening wordt berekend aan de hand van elementaire mechanica, met behulp van spanning- en rekfiguren.

De normaalkracht, welke voor de berekeningen gebruikt wordt, dient wanneer dit een drukkracht is gereduceerd te worden. Er wordt in de berekening met 25% verlies gerekend. Hier wordt conservatief mee gerekend, omdat de maximale normaaldrukkracht niet over de gehele constructiedoorsnede aanwezig hoeft te zijn. Ook wordt er een factor 0,9 (gunstig) gebruikt.

2.1.1 Controle scheurmoment

Als eerste wordt het scheurmoment berekend. Als er onvoldoende wapening aanwezig is, zal het betonstaal niet in staat zijn de trekkracht van het beton over te nemen en zal het staal breken. Zo'n plotselinge toename brengt dus het gevaar van een brosse breuk in het wapeningsstaal met zich mee.

Conform NEN-EN 1992-2/NB – art. 9.2.1.1, dient $A_{s,min}$ berekend te zijn als $A_{s,min,1}$ vanuit NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 9.2.1.1 (1). Hierin wordt het scheurmoment berekend, wanneer er sprake is van een normaaldruk- of normaaltrekkracht.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \frac{\eta}{\eta - 1} \quad (\text{bij normaaldrukkracht})$$

Waarin:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2$$

$$\eta = \frac{e * A_c}{W}$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

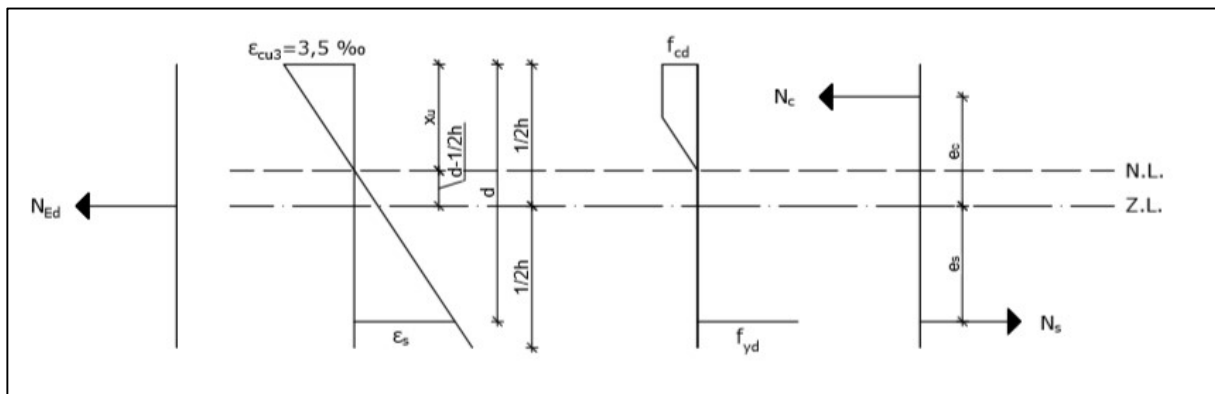
Wanneer $M_{E,min}$ groter is dan M_{Ed} , dient de minimale wapening aangehouden te worden.

$$A_{s,min} = \frac{M_{E,min}}{M_{Rd}} * A_{s,toe}$$

De minimale wapening wordt beschouwd in paragraaf 2.3.1.

2.1.2 Controle bezwijkmoment

Het bezwijkmoment (M_{Rd}) wordt berekend aan de hand van het horizontale evenwicht. In figuur 1 is het krachterspel weergegeven.



Figuur 1: Spannings- en rekfiguren gewapend beton

$$\sum H = 0 \gg N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

Hierin wordt N_{Ed} aangenomen als normaaltrekkkracht (normaaldrukkracht negatief invullen).

Hierin is N_c de kracht in het beton (oppervlakte betondrukzone * maximale spanning) en N_s de kracht in het staal (oppervlakte staal * maximale spanning)

Waarin:

$$N_c = \alpha * x_u * b * f_{cd}$$

$$N_s = A_s * f_{yd}$$

Dit horizontale evenwicht zorgt ervoor dat de hoogte van de maximale betondrukzone (x_u) berekend kan worden.

$$x_u = \frac{A_s * f_{yd} - N_{Ed}}{\alpha * b * f_{cd}}$$

De krachten in het beton en het betonstaal worden berekend. Ook is bekend waar de krachten aangrijpen, zodat deze vertaald kunnen worden in een moment. Dit moment is uiteindelijk het maximaal opneembare moment en dus het bezwijkmoment (M_{Rd}).

Om de excentriciteit van het staal te berekenen is de nuttige hoogte (d) benodigd.

$$d = h - c - 0,5 * \phi_{hw} \text{ (dwarsrichting in 1^e laag).}$$

Er wordt vanuit gegaan dat er geen beugels aanwezig zijn tijdens deze berekening.

$$e_s = -\frac{1}{2}h + d$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \beta * x_u$$

Het bezwijkmoment bedraagt:

$$M_{Rd} = N_c * e_c + N_s * e_s$$

Dit bezwijkmoment dient groter te zijn dan de grootste waarde van M_{Ed} en $M_{E,min}$.

2.1.3 Vloeien betonstaal

Het vloeien van het betonstaal dient conform NEN-EN 1992-1-1 – Bijlage C, gecontroleerd te worden. Wanneer het betonstaal niet vloeit, wordt er geen waarschuwing voor bezwijken gegeven.

Vanuit gelijkvormigheid van de driehoeken vanuit figuur 1, wordt de rek in het staal berekend.

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3} * (d - x_u)}{x_u}$$

Deze rek in het betonstaal dient groter te zijn dan de vloeigrens:

$$\varepsilon = \sigma/E = f_{yk}/E_s = 435/200000 = 0,002175$$

2.1.4 Controle maximale betondrukzone

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art 6.1 (9) dient de verhouding tussen de betondrukzone (x_u) en de nuttige hoogte (d) niet te groot te zijn. Als deze verhouding te groot wordt, bezwijkt het beton in de drukzone op stuik, voordat de wapening gaat vloeien. Voor betonsterkteklasse tot en met C50/60 ($f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$) geldt:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{500}{500 + f_{yd}}$$

Ervan uitgaand dat te allen tijde staalsoort B500 ($f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$) gebruikt wordt, geldt voor de verhouding:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{500}{500 + 435} = \frac{500}{935} = 0,535 \rightarrow x_u \leq 0,535 * d$$

Voor betonsterkteklasse groter dan C50/60 ($f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$) geldt:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{\varepsilon_{cu3} * 10^6}{\varepsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}}$$

2.1.5 Verdeelwapening

De wapening in langsrichting van de vloer (onder- en bovenwapening), wordt op dezelfde manier berekend. Echter dient er bij het moment van SCIA Engineer, de dwarscontractiecoëfficiënt (of poisson-factor) opgeteld te worden. Dit houdt in dat 20% van alle krachten van de dwarsrichting werken op de langsrichting. 20% is de poisson-factor van beton. Daar beton een isotroop materiaal is, hangen de materiaaleigenschappen niet van de richting af, waardoor de poisson-factor altijd gelijk blijft.

De dwarscontractiecoëfficiënt bedraagt een factor 0,2 (ook conform ROK 1.4 – art. 7.3), dus 20 % van het moment (M_{Ed}) in dwarsrichting.

Het rekenkundig moment in langsrichting bedraagt:

$$M_{Ed,langs} + 0,2 * M_{Ed,dwars}$$

2.2 Hoofdwapening – SLS – scheurvorming en doorbuiging

Voor de SLS combinatie, dient de scheurvorming en de doorbuiging van de constructie nader bekeken te worden.

2.2.1 Scheurvorming

Het is bekend dat een constructie altijd moet voldoen aan twee basiseisen, namelijk:

- Voldoende veiligheid (betrouwbaarheid);
- Geschikt voor gebruik (bruikbaarheid).

Voor de toetsing van de scheurvorming is de tweede eis van toepassing. Goed functioneren heeft betrekking op de duurzaamheid van de constructie ofwel de weerstand tegen aantasting van buiten. Het gevaar van wapeningsaantasting heeft vooral te maken met de grootte van de betondekking.

De maximale scheurwijdte w_{max} wordt bepaald aan de hand van de milieuklasse. NEN-EN 1992-1-1/NB – Tabel 7.1N geeft de grenswaarden, weergegeven in figuur 2.

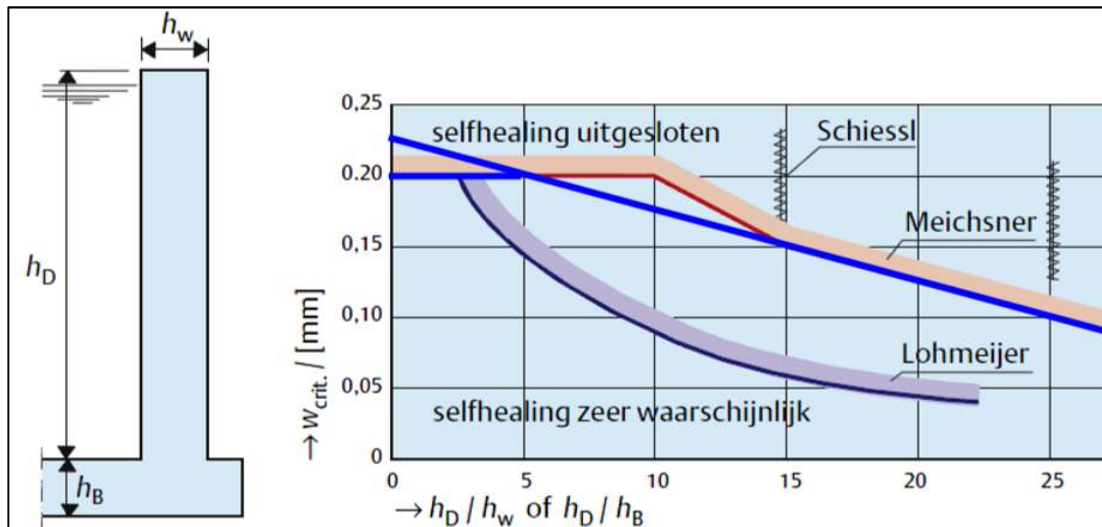
Tabel 7.1N — Aanbevolen waarden van w_{max} en daarvan afgeleide grootheden			
Milieuklasse	Elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting	Elementen met een combinatie van betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	Elementen met uitsluitend voorspanstaal met aanhechting
	Frequente belastingscombinatie	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.			

Figuur 2: Maximale scheurwijdte w_{max}

Echter moet de scheurwijdte w_k , conform NEN-EN 1992-3 – art. 7.3.1, ten behoeve van de waterdichtheid begrensd worden.

Op basis van praktijkwaarnemingen heeft Lohmeijer een grafiek samengesteld (grafiek van Lohmeijer), waarin een kritische scheurwijdte voor self-healing wordt aangegeven als functie van de verhouding tussen vloeistofhoogte en wanddikte (figuur 3). Afhankelijk van de dikte van de constructie en de grondwaterstand ligt de maximale scheurwijdte waarbij waterdichtheid kan worden behaald volgens deze grafiek tussen 0,05 en 0,2 mm (Breugel, 1996).

In figuur 4 zijn de betreffende waarden vanuit de grafiek, vertaald in een tabelvorm.



Figuur 3: Factor voor de waterdichtheid van de constructie

$$w_{crit} \left(\frac{h_D}{h_i} \right) = \begin{cases} 0.20 & | \quad h_D/h_i \leq 5 \\ 0.225 - 0.005 h_D/h_i & | \quad h_D/h_i \\ 0.05 & | \quad h_D/h_i > 35 \end{cases}$$

Figuur 4: Grenswaarde w_{max}

2.2.2 Berekening van scheurwijdtes

In NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.3 zijn een tweetal tabellen weergegeven, waaruit de beheersing van de scheurwijdtes uitgevoerd kan worden. Echter is, conform NEN-EN 1992-2/NB – art. 7.3.4, scheurbeheersing zonder berekening niet toegelaten. De berekening wordt uitgevoerd volgens NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.4.

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

De maximale scheurafstand $s_{r,max}$ wordt bepaald aan de hand van NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 7.11:

$$s_{r,max} = k_3 * c + \frac{k_1 * k_2 * k_4 * \phi}{\rho_{p,eff}} \leq \max\{(50 - 0,8 f_{ck})\phi; 15\phi\}$$

Waarin de equivalente staafdiameter ingevuld wordt.

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2}$$

k_1 = 0,8 voor staven met een hoge aanhechting;

k_2 = 0,5 voor buiging en 1,0 voor zuivere trek;

k_3 = 3,4 (NB – 7.3.4 (3));

k_4 = 0,425 (NB – 7.3.4(3));

c = dekking op de langswapening;

$\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$.

De rek tussen het beton en het staal dient berekend te zijn conform NEN-EN 1992-1-1 vgl. 7.9.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 * \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Hierin zijn de volgende variabelen gedefiniëerd:

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} \text{ conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.2;}$$

σ_s = spanning in de trekwapening, uitgaande van een gescheurde doorsnede;

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}};$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}};$$

Waarbij:

$A_{c,eff}$ is gedefinieerd als $b * h_{c,eff}$, met $h_{c,eff} = \max \{2,5(h - d); (h - x^*)/3; h/2\}$.

k_t = factor afhankelijk van de belastingsduur (0,6 kortdurende belasting, 0,4 langdurende belasting).

De berekening van de betondrukzone x wordt verderop behandeld.

De scheurwijdte wordt getoetst aan de volgende formule:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

De waarde k_c is afhankelijk van de nominale en toegepaste dekking:

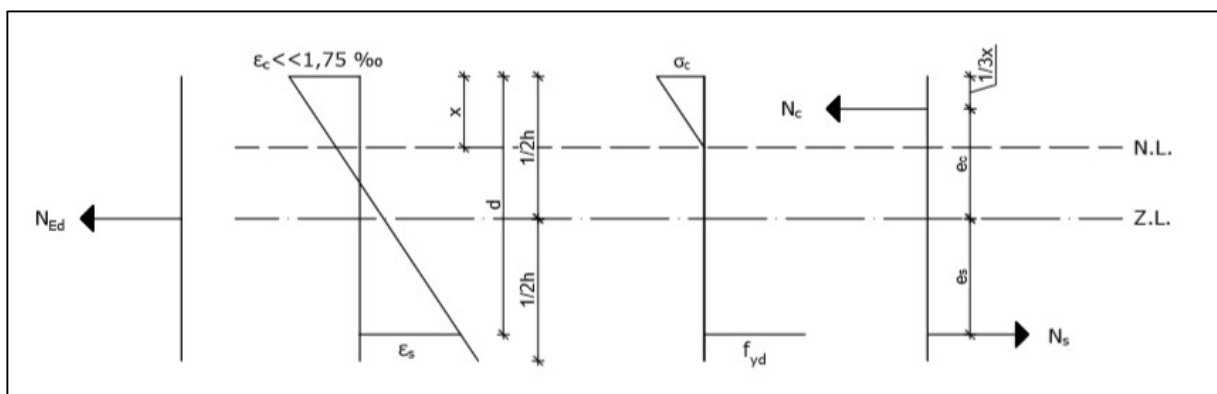
$$k_c = c_{toe}/c_{nom}.$$

Om de berekening verder toe te lichten, is er in hoofdstuk 5 een voorbeeldberekening op basis van de casus weergegeven.

2.2.3 Berekening betondrukzone x

Voor de berekening van de scheurvorming, dient de hoogte van de betondrukzone (x) berekend te worden. Omdat er sprake is van een normaalruk- of normaaltrekkkracht op het beton, is de berekening van deze x vrij gecompliceerd.

Als eerste worden de spanning en rek figuren van deze SLS-situatie opgesteld. Deze figuren zijn weergegeven in figuur 5. Hierin wordt aangetekend dat de betondrukzone groter wordt, wanneer de normaalkracht een drukkracht is.



Figuur 5: Spannings- en rekfiguren SLS-toestand

In de berekening van de casus zal deze kracht over het algemeen een trekkracht zijn, omdat de trekkracht vanuit het belastinggeval krimp/kruip relatief groot is ten opzichte van de drukkracht uit de berekening.

Ook wordt het horizontale evenwicht opnieuw beschouwd.

$$\sum H = 0 \gg N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

Hierin wordt N_{Ed} aangenomen als normaaltrekkracht (normaaldrukkracht negatief invullen).

N_c en N_s zijn in deze situatie de daadwerkelijk optredende kracht, in plaats van de maximale optreedbare krachten. Dit zorgt ervoor dat de spanningen in het beton en het staal niet bekend zijn. Er wordt gebruik gemaakt van de volgende vergelijking: $\sigma = \varepsilon * E$. Ook is weergegeven dat de betondrukzone de vorm van een driehoek (geen bezwijkstadium) heeft, waardoor de oppervlakte anders berekend dient te worden.

$$N_c = 0,5 * x * b * \varepsilon_c * E_c$$

$$N_s = A_s * \varepsilon_s * E_s$$

De elasticiteitsmodulus van zowel het beton en het staal zijn reeds bekend ("Bijlage D - Materiaalgegevens"). De rek van het beton en het staal zijn echter onbekend. Wel kan er door middel van gelijkvormige driehoeken een uitdrukking gevonden worden, waardoor ε_s als ε_c geschreven wordt (zie figuur 5).

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c * (e_s + 0,5 * h - x)}{x}$$

De bovenstaande formule wordt ingevuld in de formules voor beton- en staalkrachten.

$$N_s = A_s * E_s * \frac{\varepsilon_c * (e_s + 0,5 * h - x)}{x}$$

Om de berekeningen uit te voeren, zijn de excentriciteiten benodigd.

$$e_s = \frac{1}{2}h - c - 0,5 * \phi_{hw}$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \frac{1}{3} * x$$

In beide formules is de betonrek gedefinieerd. Door deze rek naar het linkerlid van de berekening te schrijven, ontstaan de volgende twee vergelijkingen.

$$\frac{N_c}{\varepsilon_c} = 0,5 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$\frac{N_s}{\varepsilon_c} = A_s * E_s * \frac{(e_s + 0,5 * h - x)}{x} \quad (b)$$

Vervolgens wordt, door opnieuw het horizontale evenwicht te beschouwen, de betonrek gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = \frac{-N_{Ed}}{(a) - (b)}$$

De krachten en de momenten in het beton en betonstaal bedragen dan:

$$N_c = (a) * \varepsilon_c \quad M_c = N_c * e_c$$

$$N_s = (b) * \varepsilon_c \quad M_s = N_s * e_s$$

Bovenstaande wordt opgelost door twee vergelijkingen op te stellen. Als eerste wordt het horizontale evenwicht beschouwd. Ook worden de momenten beschouwd.

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$M_c + M_s - M_{SLs} = 0$$

Hierdoor ontstaan er twee vergelijkingen met een tweetal onbekenden (x en ε_c). Deze vergelijkingen worden opgelost door voor x een waarde te kiezen, net zolang totdat de vergelijkingen voldoen.

Hierna dient x alleen nog ingevuld te worden, om de gevonden waarde te controleren op bovenstaande vergelijkingen.

2.2.4 Doorbuiging

De doorbuiging dient gecontroleerd te worden conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.4 en ROK1.4 – art. A.2.4.2 (3), waarbij geldt $w < 1/300 * lengte$. De constructievloer is gefundeerd op een bedding, waardoor de doorbuiging in de praktijk geringe waarden aanneemt.

2.3 Hoofdwapening - Detailleringsregels

Naast het rekenkundige gedeelte, dient de hoofdwapening conform NEN-EN 1992-1-1 – H9 aan de nodige detailleringregels te voldoen.

2.3.1 Minimale wapeningsverhouding

De minimale wapening behoort conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 9.2.1.1 niet kleiner te zijn dan:

$$A_{s,min} = \frac{M_{E,min}}{M_{Rd}} * A_{s,toe}$$

Naast de bovenstaande minimale wapening (scheurmoment), dient de wapening aan de volgende detailleringregels te voldoen.

De langstaven dienen een minimale diameter van 6 mm te hebben.

Verder dient de hart-op-hartafstand van de hoofdwapening niet groter te zijn dan $s_{max,slabs}$.

Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.3.1.1 (3) bedraagt deze waarde $3h < 400$ mm.

2.3.2 Maximale wapeningsverhouding

Naast een minimale wapeningsverhouding, wordt er ook rekening gehouden met een maximale wapeningsverhouding. Deze maximale verhouding is buiten de overlappingslassen gerekend.

$$A_{s,max} = 0,04 * A_c \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 – art 9.2.1.1 (3)}$$

2.3.3 Verankeringslengte hoofdwapening

De kracht die het beton en de wapening op elkaar uitoefenen, moeten worden opgenomen zonder dat de wapening wordt losgetrokken.

Over de overdrachtslengte wordt de kracht in het staal geleidelijk op het beton overgebracht. De aanhechtspanning zal afnemen met de diepte van de staaf in het beton.

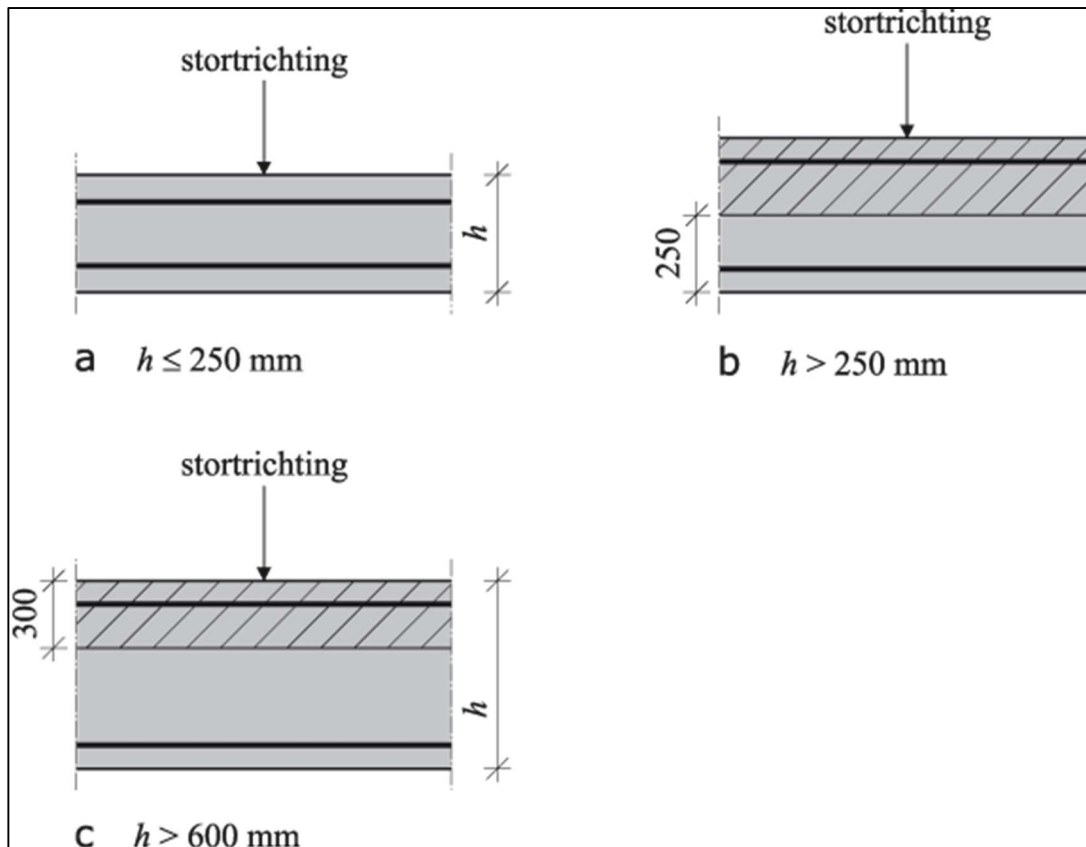
De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

Hierin is f_{bd} de rekenwaarde van de uiterst opneembare aanhechtspanning (NEN-EN 1992-1-1 – art. 8.4.2).

$$f_{bd} = 2,25 * n_1 * n_2 * f_{ctd}$$

Hierin is n_1 een factor welke afhankelijk is van de aanhechtomstandigheden (figuur 6). Bij goede omstandigheden bedraagt deze factor 1,0 en bij slechte omstandigheden 0,7.



Figuur 6: Aanhechtomstandigheden (Figuur 6.3 CB2)

n_2 is een factor welke gerelateerd is aan de staafdiameter.

$$n_2 = \frac{132 - \phi}{100} \leq 1,0$$

De rekenwaarde van de verankeringslengte, zoals die in een betonconstructie moet worden aangehouden, is voor een op trek belaste wapeningsstaaf (NEN-EN 1992-1-1 – art. 8.4):

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

De waarden voor α_1 tot en met α_5 zijn weergegeven in figuur 7.

De minimum-verankeringslengte bedraagt de maximale waarden van onderstaande:

- $0,3 * l_{b,rqd}$;
- $10 * \phi$;
- 100 mm.

De waarden voor α_3 , α_4 en α_5 worden conservatief op 1,0 aangehouden.

Tabel 8.2 — Waarden van de coëfficiënten α_1 , α_2 , α_3 , α_4 en α_5			
Invloedsfactor	Type verankering	Wapeningsstaaf	
		Trekstaaf	Drukstaaf
Vorm van de staaf	recht	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	anders dan recht (zie figuur 8.1 (b), (c) en (d))	$\alpha_1 = 0,7$ als $c_d > 3 \phi$ anders $\alpha_1 = 1,0$ (zie figuur 8.3 voor waarden van c_d)	$\alpha_1 = 1,0$
Betondekking	recht	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	anders dan recht (zie figuur 8.1 (b), (c) en (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 (c_d - 3 \phi) / \phi$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (zie figuur 8.3 voor waarden van c_d)	$\alpha_2 = 1,0$
Opsluiting door dwarswapening, niet gelast aan de hoofdwapening	alle types	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Opsluiting door gelaste dwarswapening *	alle types, positie en afmeting als gespecificeerd in figuur 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Opsluiting door dwarsdruk	alle types	$\alpha_5 = 1 - 0,04 p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	—
waarin: $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$; ΣA_{st} oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de dwarswapening langs de rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd} ; $\Sigma A_{st,min}$ oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de minimale dwarswapening; $= 0,25 A_s$ voor balken en 0 voor platen; A_s oppervlakte van de doorsnede van een enkelvoudig verankerde staaf met maximale staafdiameter; K waarden getoond in figuur 8.4; p druk in dwarsrichting (MPa) in de uiterste grenstoestand langs l_{bd} .			
* Zie ook 8.6: Voor directe opleggingen mag l_{bd} kleiner zijn genomen dan $l_{b,min}$, op voorwaarde dat er ten minste één dwarsdraad is gelast binnen de oplegging. Dit behoort ten minste op 15 mm vanaf de dagkant van de oplegging te zijn.			

Figuur 7: Waarden van de coëfficiënten

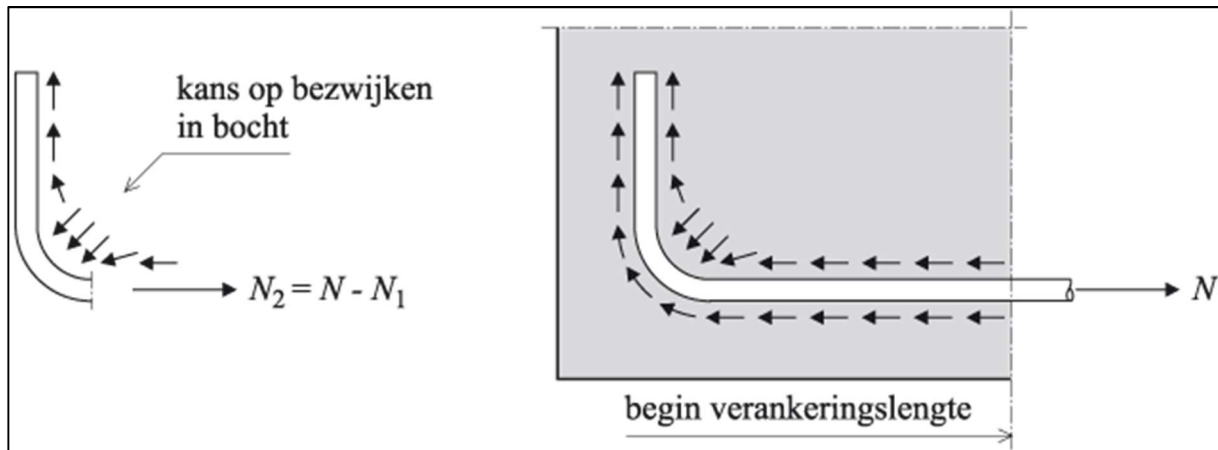
2.3.4 Ombuiging verankering

Bij de beëindiging van vloeren is er vaak onvoldoende ruimte om de staven voor het einde van de vloer recht te verankeren. De staaf moet worden omgebogen. Bij een ombuiging in staven betonstaal moet de doordiameter ϕ_m ten minste 4ϕ bedragen bij $\phi < 16$ mm en ten minste 5ϕ bij $\phi > 16$ mm (NEN-EN 1992-1-1/NB – Tabel 8.1Na). Deze voorwaarde geldt, zodat wordt voorkomen dat wapening beschadigt tijdens het buigen.

Naast de doorndiameter dient er ook aandacht besteedt te worden aan het beton. De totale verankeringslengte is de som van twee delen:

- Het rechte gedeelte voor de ombuiging;
- Het gedeelte in en na de ombuiging.

Er wordt aan de staaf getrokken met een kracht N . Deze kracht zal in het eerste gedeelte, van de staaf tot de bocht, een deel van de trekkracht door aanhechtingskrachten op het beton overdragen (N_1). Het resterende deel van de trekkracht $N_2 (= N - N_1)$, zal door de staafbocht in het na de bocht gelegen staafdeel worden verankerd. Deze krachten zijn weergegeven in figuur 8.



Figuur 8: Krachten N_1 en N_2 t.b.v. de verankeringslengte (Figuur 6.9 CB2)

Ten behoeve van het splijtgevaar van het beton, worden er in NEN-EN 1992-1-1 – art. 8.3 (3) twee relevante voorwaarden gesteld, namelijk:

- De doorndiameter is ten minste gelijk aan de eerder besproken waarde, ten behoeve van het beschadigen van het betonstaal;
- De verankering van de staaf vereist geen grotere lengte dan 5ϕ voorbij het einde van de ombuiging.

Als niet aan deze eisen voldaan wordt, dient conform NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 8.1 de minimum-doorndiameter berekend te worden.

$$\phi_{m,min} \geq \frac{F_{bt} \left[\left(\frac{1}{a_b} \right) + 1 / (2 * \phi) \right]}{f_{cd}}$$

Waarin:

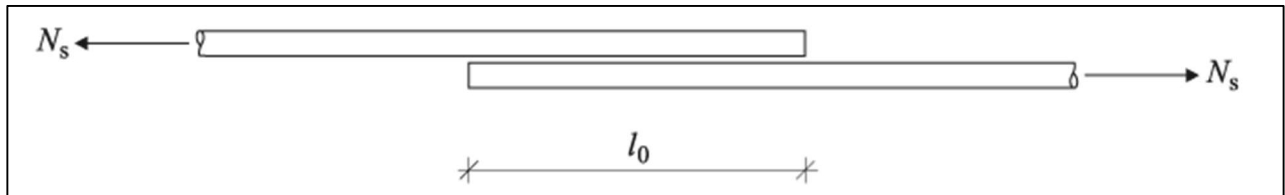
F_{bt} = trekkracht in de staaf aan het begin van de ombuiging;

a_b = De helft van de hartafstand van de staven loodrecht op het vlak van de ombuiging. Voor een staaf nabij de rand van het element moet voor a_b de dekking vermeerderd met $\phi/2$ worden aangehouden.

2.3.5 Overlappingslengte hoofdwapening

Betonstaal wordt geleverd in lengten van 12 en 14 meter. Als voor gewapende-beton-constructies langere staven gewenst zijn, dan moeten de staven verlengd worden. Voor het verlengen van betonstaal, wordt gebruik gemaakt van de overlappingslas.

De staven worden over de zogenaamde laslengte naast elkaar gelegd, zoals weergegeven in figuur 9. De trekkracht wordt van de ene staaf op de andere staaf overgebracht door drukdiagonalen in het omhullende beton.



Figuur 9: Overlappingslas (Figuur 6.11 CB2)

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De ruimte tussen de beide staven mag niet groter zijn dan $4\emptyset$ en maximaal 50 mm. Dit om de krachtsoverdracht mogelijk te maken. Als deze waarde overschreden wordt, dient de laslengte vergroot te worden met de vrije tussenruimte.

De minimale waarde van de laslengte $l_{0,min}$ bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

- $0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd}$;
- $15 * \emptyset$;
- 100 mm.

De factoren α_1 tot en met α_5 worden weergegeven in figuur 2. De basisverankeringslengte $l_{b,rqd}$ wordt berekend zoals hiervoor behandeld.

α_6 is een factor afhankelijk van het percentage overlappende staven in verhouding tot de totale oppervlakte van de doorsnede. (NEN-EN 1992-1-1/NB – Tabel NB 8.3, figuur 10). Voor α_6 wordt conservatief 1,5 aangehouden.

Tabel NB 8.3 — Waarden van de coëfficiënt α_6					
Verankering	Percentage overlappende staven in verhouding tot de totale oppervlakte van de dwarsdoorsnede	< 25 %	33 %	50 %	>50 %
Trek	α_6	1	1,15	1,4	1,5
Druk	α_6	1	1	1	1
OPMERKING Tussenliggende waarden mogen zijn bepaald door interpolatie.					

Figuur 10: Waarde α_6

2.4 Dwarskrachtwapening – ULS – Dwarskracht en normaalkracht

De dwarskracht op de constructie dient gecontroleerd te worden. De berekening wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.2. De normaalkracht wordt meegenomen in de dwarskracht berekening. Een normaaldrukkracht heeft een positief effect en een normaaltrekkracht een negatief effect.

De dwarskracht (V_{Ed}) moet kleiner zijn dan de dwarskrachtweerstand (V_{Rd}). De dwarskrachtweerstand wordt als volgt berekend:

$$V_{Rd} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] b * d \geq ((0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}) + k_1 * \sigma_{cp}) b * d$$

Waarbij:

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c;$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0;$$

$$\rho_l = A_{sl} / b * d \leq 0,02;$$

Waarbij:

A_{sl} = oppervlakte trekwapening.

$$k_1 = 0,15;$$

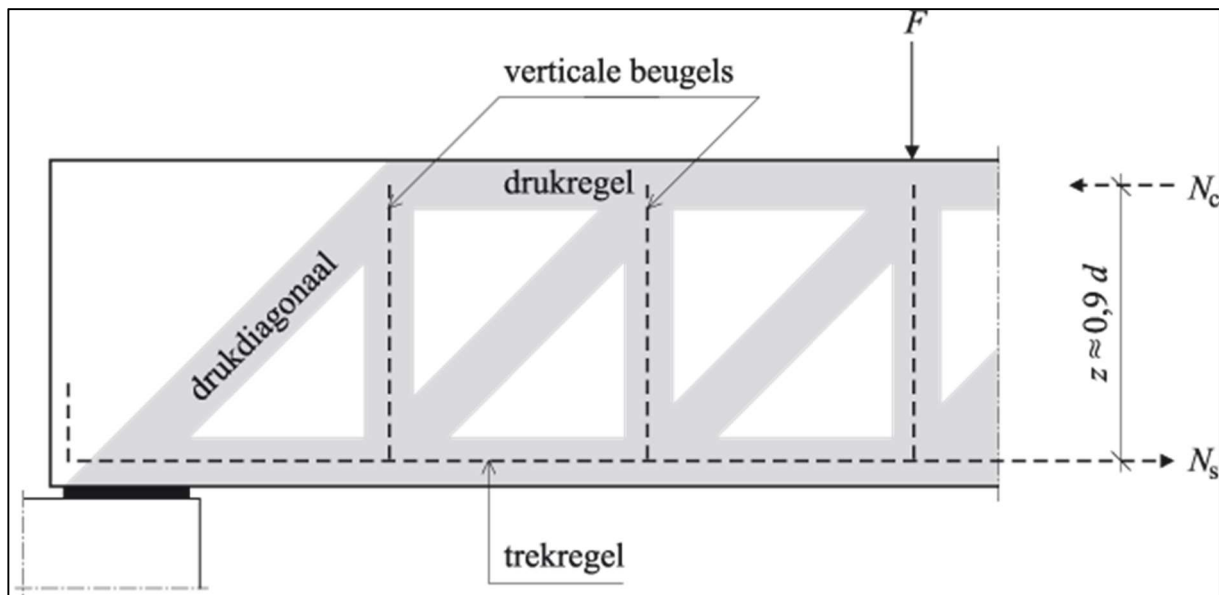
$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c \leq 0,2 * f_{cd}.$$

$k_1 * \sigma_{cp}$ zorgt voor het effect van de normaalkracht in de berekening.

Wanneer de dwarskracht groter is dan de dwarskrachtweerstand, dient de gehele dwarskracht door de wapening (beugels) opgenomen te worden.

Het berekenen van elementen met dwarskrachtwapening is gebaseerd op een vakwerkanalogie (figuur 11). De grenswaardes voor de hoek θ zijn:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5 \text{ (NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 6.2.3 (2))}$$



Figuur 11: Vakwerkanalogie (Figuur 7.5 CB2)

De dwarskrachtweerstand bedraagt met verticale dwarskrachtwapening (EN-1992-1-1 – vgl. 6.8):

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_w} * z * f_{yd} * \cot\theta$$

Deze formule kan omgeschreven worden tot een ontwerpformule voor de benodigde dwarskrachtwapening. Gesteld wordt dat de optredende dwarskracht gelijk is aan de weerstand.

$$V_{Ed} = V_{Rd}$$

De ontwerpformule geeft een oppervlakte. Deze oppervlakte dient bij eventuele dubbelsnedige beugels gehalveerd te worden.

$$\frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{yd} * d * \cot\theta}$$

2.4.1 Controle drukdiagonaal

Als laatste dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Als er een overschot aan dwarskrachtwapening wordt toegepast, kan de drukdiagonaal van het beton bezwijken. Om dit te voorkomen wordt er een grenswaarde aan de dwarskrachtweerstand gesteld. (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 6.9).

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b * z * v_1 * f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

Waarin:

$$\alpha_{cw} = 1,0 \text{ voor niet voorgespannen constructies (NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.2.3 (3) opm. 3)}$$

$$v_1 = 0,6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \text{ (NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.2.3 (3) opm. 1)}$$

Als $V_{Rd,max}$ wordt overschreden dient de geometrie of betonsterkteklasse aangepast te worden.

2.5 Dwarskrachtwapening - Detaillierungsregels

Net zoals voor de hoofdwapening zijn er in NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.2.2 detaillierungsregels opgesteld voor de dwarskrachtwapening.

De dwarskrachtwapening behoort een hoek te maken met de lengte-as van de constructie. Deze hoek dient tussen de 45 en 90 graden te zijn.

De maximale hart-op-hartafstand in langsrichting in opeenvolgende vlakken dwarskrachtwapening behoort niet groter te zijn dan $s_{l,max}$ (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 9.6N).

$$s_{l,max} = 0,75 * d(1 + \cot\alpha)$$

Waarin α de hoek van de dwarskrachtwapening ten opzichte van de lengte-as van de ligger.

De hart-op-hartafstand van de benen van een serie dwarskrachtbeugels behoort in dwarsrichting niet groter te zijn dan $s_{t,max}$ (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 9.8N).

$$s_{t,max} = 0,75 * d \leq 600mm.$$

3. Wapeningsberekening wanden

De berekeningsmethodiek voor de constructiewanden, wordt onderzocht in zowel de ULS als de SLS. Voor de uiterste grenstoestand (ULS) dient het buigend moment en de dwarskracht gecontroleerd te worden. In de bruikbaarheidsgrenstoestand (SLS) dienen de scheurvorming en de doorbuiging gecontroleerd te worden. Normaalkracht in de wanden, wordt buiten beschouwing gelaten omdat dit voornamelijk afkomstig is van het eigen gewicht.

In deze berekening zal de wapening, ter plaatse van de dikke en dunne wand, berekend worden. Voor de verticale wapening wordt alleen de grondzijde berekend, daar deze trek moet opnemen. De zichtzijde neemt druk op en zal daarom alleen praktisch gewapend worden op basis van de wapening in de grondzijde. Voor de horizontale wapening

Om de wand constructief te berekenen, dienen de volgende wapeningsoppervlaktes gedimensioneerd te worden:

- Hoofdwapening – verticale richting grondzijde dikke wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting grondzijde dunne wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting zichtzijde dikke wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting zichtzijde dunne wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting grondzijde dikke wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting grondzijde dunne wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting zichtzijde dikke wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting zichtzijde dunne wand (2^e laag);
- Dwarskrachtwapening – dwarsrichting dikke wand;
- Dwarskrachtwapening – dwarsrichting dunne wand.

De aansluiting van de wanden met de vloer, is in hoofdstuk 2 al berekend.

3.1 Hoofdwapening – ULS – buigend moment

Om de benodigde buigtrekwapening te bepalen, dienen de momenten uit het rekenprogramma SCIA Engineer bepaald te worden. De benodigde buigtrekwapening wordt bepaald door het buigend moment. Normaalkracht in de wanden, wordt voor deze berekening buiten beschouwing gelaten.

De wapening wordt berekend aan de hand van elementaire mechanica, met behulp van spanning-rek diagrammen.

3.1.1 Controle scheurmoment

Als eerste wordt het scheurmoment berekend. Als er onvoldoende wapening aanwezig is, zal het betonstaal niet in staat zijn de trekkracht van het beton over te nemen en zal het staal breken. Zo'n plotselinge toename brengt dus het gevaar van een brosse breuk in het wapeningsstaal met zich mee.

Conform NEN-EN 1992-2/NB – art. 9.2.1.1 dient $A_{s,min}$ berekend te zijn als $A_{s,min1}$ vanuit NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1).

$A_{s,min1}$ is volgens art. 6.1 het benodigde oppervlak om het moment $M_{E,min}$ op te kunnen nemen.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W \quad \text{bij zuivere buiging;}$$

Waarin:

$$W = 1/6 * b * h^2$$

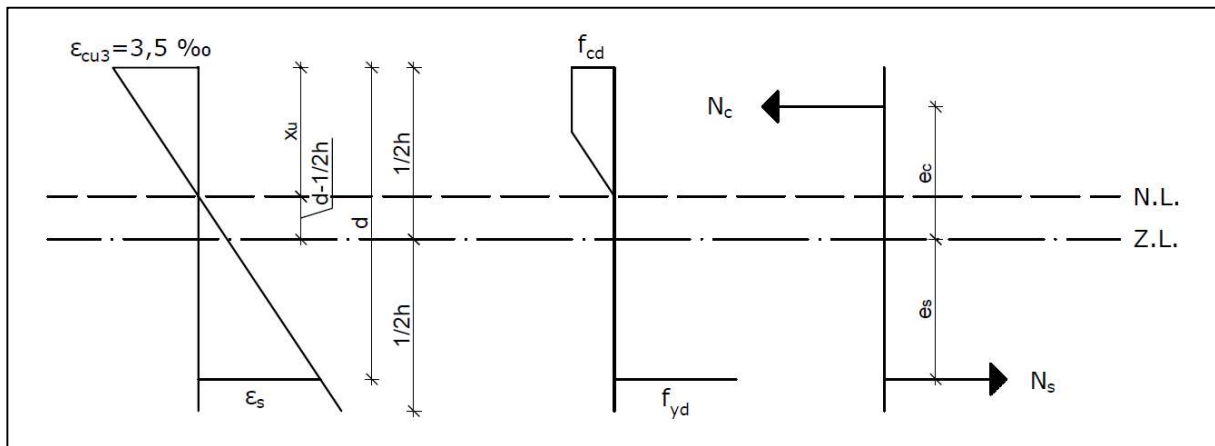
Wanneer $M_{E,min}$ groter is dan M_{Ed} , dient de minimale wapening aangehouden te worden.

$$A_{s,min} = \frac{M_{E,min}}{M_{Rd}} * A_{s,toe}$$

De minimale wapening wordt beschouwd in paragraaf 2.3.1.

3.1.2 Controle bezwijkmoment

Het bezwijkmoment M_{Rd} wordt berekend aan de hand van het horizontale evenwicht. In figuur 12 is het krachterspel weergegeven.



Figuur 12: Spanning en rekfiguren gewapend beton

$$\sum H = 0 \rightarrow N_c - N_s = 0$$

Hierin is N_c de kracht in het beton (oppervlakte betondrukzone * maximale spanning) en N_s de kracht in het staal (oppervlakte staal * maximale spanning).

Waarin:

$$N_c = \alpha * x_u * b * f_{cd}$$

$$N_s = A_s * f_{yd}$$

Waarin:

- α = 0,75 voor sterkteklassen t/m C50/60;
= 0,72 voor sterkteklasse C53/65;
- x_u is de maximale betondrukzone;
- b is de breedte van één m^1 wand;
- f_{cd} is in N/mm^2 ;
- A_s is de oppervlakte van het wapeningsstaal;
- f_{yd} is in N/mm^2 .

Dit horizontale evenwicht, zorgt ervoor dat de hoogte van de maximale betondrukzone x_u berekend kan worden.

$$x_u = \frac{A_s * f_{yd}}{\alpha * b * f_{cd}}$$

De krachten in het beton en het staal worden berekend. Ook is bekend waar de krachten aangrijpen, zodat deze vertaald kunnen worden in een moment. Dit moment is uiteindelijk het maximaal opneembare moment en dus het bezwijkmoment (M_{Rd}).

Om de excentriciteit van het staal te berekenen is de nuttige hoogte (d) benodigd.

$$d = h - c - \phi_{bgl} - 0,5 * \phi_{hw}$$

Er wordt vanuit gegaan dat er geen beugels aanwezig zijn tijdens deze berekening.

$$e_s = -\frac{1}{2}h + d$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \beta * x_u$$

Waarin:

$$\begin{aligned}\beta &= 7/18 \text{ voor sterkteklassen t/m C50/60;} \\ &= 8/21 \text{ voor sterkteklasse C53/65.}\end{aligned}$$

Het bezwijkmoment bedraagt:

$$M_{Rd} = N_c * e_c + N_s * e_s$$

Dit bezwijkmoment dient groter te zijn dan M_{Ed} of $M_{E,min}$.

3.1.3 Vloeien betonstaal

Het vloeien van het betonstaal dient gecontroleerd te worden. Wanneer het betonstaal niet vloeit, zullen er geen scheuren ontstaan, waardoor er geen waarschuwing voor bezwijken gegeven wordt.

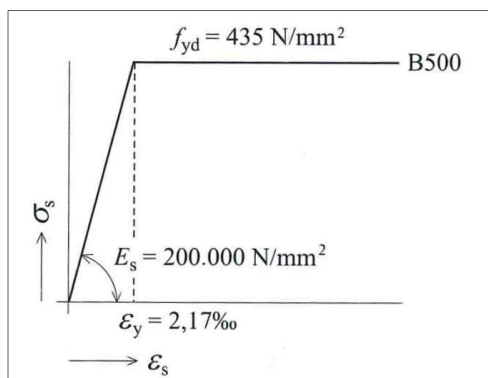
Vanuit gelijkvormigheid van de driehoeken vanuit figuur 12 wordt de rek in het staal berekend.

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu3} * (d - x_u)}{x_u}$$

Deze staalspanning dient groter te zijn dan de vloeigrens:

$$\varepsilon = \sigma/E = 435/200000 = 0,002175 = 2,175 \text{ ‰}$$

In figuur 13 is weergegeven waarop deze berekening gebaseerd is.



Figuur 13: Spannings-rekdiagram voor betonstaal

3.1.4 Controle maximale betondrukzone

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art 6.1 (9) dient de verhouding tussen de betondrukzone x_u en de nuttige hoogte d niet te groot te zijn. Als deze verhouding te groot wordt, bezwijkt het beton in de

drukzone op stuijk, voordat de wapening gaat vloeien. Voor betonsterkteklassen tot en met C50/60 ($f_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$) geldt:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{500}{500 + f_{yd}}$$

Ervan uitgaand dat te allen tijde staalsoort B500 ($f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$) gebruikt wordt, geldt voor de verhouding:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{500}{500 + 435} = \frac{500}{935} = 0,535 \rightarrow x_u \leq 0,535 * d$$

Voor betonsterkteklasse groter dan C50/60 ($f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2$) geldt:

$$\frac{x_u}{d} = \frac{\varepsilon_{cu} * 10^6}{\varepsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}}$$

3.2 Hoofdwapening – SLS – scheurvorming en doorbuiging

Voor de SLS combinatie dienen de scheurvorming en de doorbuiging van de constructie gecontroleerd te worden.

3.2.1 Controle scheurwijdte

Het is bekend dat een constructie altijd moet voldoen aan twee basiseisen, namelijk:

- Voldoende veiligheid (betrouwbaarheid);
- Geschikt voor gebruik (bruikbaarheid).

Voor de toetsing van de scheurvorming is de tweede eis van toepassing. Goed functioneren heeft betrekking op de duurzaamheid van de constructie ofwel de weerstand tegen aantasting van buiten. Het gevaar van wapeningsaantasting heeft vooral te maken met de grootte en de dichtheid van de betondekking.

De maximale scheurwijdte w_{max} wordt bepaald aan de hand van de milieuklasse. NEN-EN 1992-1-1/NB – Tabel 7.1N geeft de grenswaarden, weergegeven in figuur 14.

Tabel 7.1N — Aanbevolen waarden van w_{max} en daarvan afgeleide grootheden			
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.			

Figuur 14: Maximale scheurwijdte w_{max}

Echter moet de scheurwijdte w_k , conform NEN-EN 1992-3 – art. 7.3.1, ten behoeve van de waterdichtheid, begrensd worden. Deze begrenzing wordt op dezelfde manier opgesteld als in paragraaf 2.2.1.

3.2.2 Berekening van scheurwijdtes

In NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.3 zijn een tweetal tabellen weergegeven, waaruit de beheersing van de scheurwijdtes uitgevoerd kan worden. Echter wordt conform EN-1992-1-1 – art. 7.3.4 een nauwkeurige berekening weergegeven.

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

De maximale scheurafstand $s_{r,max}$, wordt bepaald aan de hand van NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 7.11:

$$s_{r,max} = k_3 * c + \frac{k_1 * k_2 * k_4 * \emptyset}{\rho_{p,eff}} \leq \max\{(50 - 0,8 f_{ck})\emptyset; 15\emptyset\}$$

Waarin de equivalente staafdiameter ingevuld dient te worden.

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \emptyset_1^2 + n_2 \emptyset_2^2}{n_1 \emptyset_1 + n_2 \emptyset_2}$$

k_1 = 0,8 voor staven met een hoge aanhechting;

k_2 = 0,5 voor buiging en 1,0 voor zuivere trek;

k_3 = 3,4 (NB – 7.3.4 (3));

k_4 = 0,425 (NB – 7.3.4(3));

c = dekking op de langswapening;

$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff}$.

De rek tussen het beton en het staal dient berekend te zijn conform NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 7.9.

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_{s,freq} - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 * \frac{\sigma_{s,freq}}{E_s}$$

Waarin:

$\sigma_{s,freq} = \frac{M_{fr}}{M_{Rd}} * f_{yd}$ is σ in de trekwapening, uitgaande van een gescheurde doorsnede;

M_{Rd} = berekend in paragraaf 3.1.2;

k_t = 0,6 voor kortdurende belasting;

= 0,4 voor langdurende belasting.

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.2;

α_e = de verhouding E_s / E_{cm} ;

$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}}$.

Waarin:

$A_{c,eff}$ is gedefinieerd als $b * h_{c,eff}$, met $h_{c,eff} = \max\{2,5(h - d); (h - x)/3; h/2\}$

De berekening van de betondrukzone x wordt in paragraaf 3.2.3 behandeld.

De scheurwijdte wordt getoetst aan de volgende formule:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

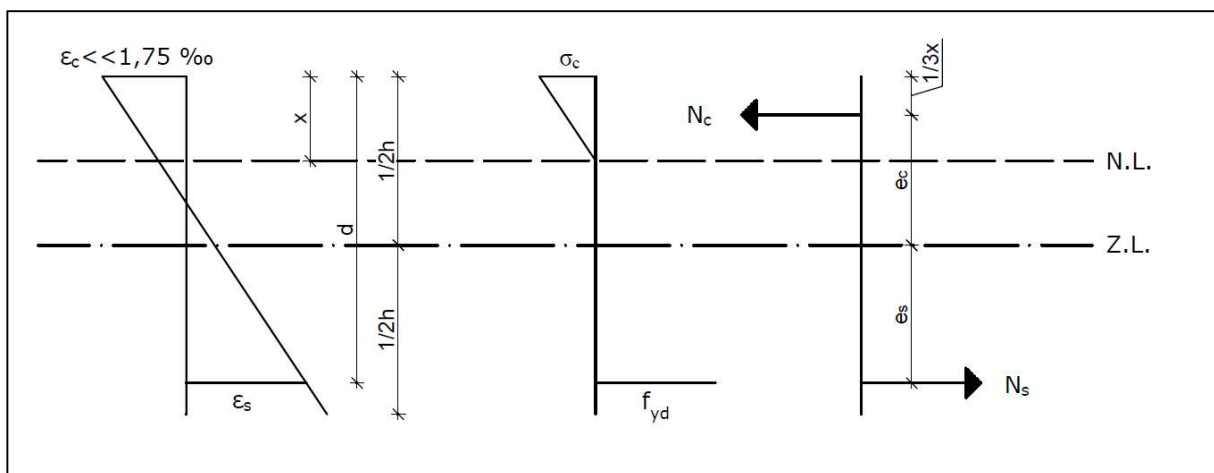
De waarde k_c is afhankelijk van de nominale en toegepaste dekking:

$$k_c = c_{toe}/c_{nom}$$

Om de berekening verder toe te lichten, is er in hoofdstuk 4 een voorbeeldberekening op basis van de casus weergegeven. Deze berekening is gericht op de constructievloer daar deze berekening, in verband met normaalkracht, complexer is.

3.2.3 Berekening betondrukzone x

Voor de berekening van de scheurvorming, dient de hoogte van de betondrukzone (x) berekend te worden. Als eerste worden de spannings- en rekfiguren van deze SLS-situatie opgesteld. Deze figuren zijn weergegeven in figuur 15.



Figuur 15: Spannings- en rekfiguren gewapend beton SLS-toestand

Ook wordt het horizontale evenwicht opnieuw beschouwd.

$$\sum H = 0 \rightarrow N_c - N_s = 0 \rightarrow N_c = N_s$$

N_c en N_s zijn in deze situatie de daadwerkelijk optredende krachten, in plaats van de maximale optreedbare krachten. Dit zorgt ervoor dat de spanningen in het beton en het staal niet bekend zijn. Door middel van het horizontale evenwicht kunnen de formules voor N_c en N_s opgesteld worden.

$$N_c = 3/4 * x_u * b * f_{cd} \quad \text{Kracht in het beton;}$$

$$N_s = A_s * f_{yd} \quad \text{Kracht in het betonstaal.}$$

Om de optredende spanning in de gebruiksfase te bepalen, moet de spanning in de SLS-toestand gehanteerd worden. Deze spanning wordt als volgt berekend:

$$\sigma_{s,req} = \frac{M_{SLS}}{M_{Rd}} * f_{yd}$$

Waarin:

- M_{SLS} = is het moment van de frequente belastingcombinatie uit SCIA Engineer ;
- M_{Rd} = berekend in paragraaf 3.1.2.;
- f_{yd} = 435 N/mm² (maximale belasting).

De optredende staalspanning kan berekend worden, waarna x afgeleid wordt. Dit door de optredende kracht N_s in het betonstaal te berekenen.

$$N_s = A_s * \sigma_{s,freq}$$

Door middel van het horizontale momentevenwicht, kunnen de formules voor M_c en M_s opgesteld worden. Hierin worden de volgende formules gebruikt:

$$M_c + M_s = M_{SLS}$$

Waarin:

$$M_c = N_c * e_c$$

$$M_s = N_s * e_s$$

In figuur 15 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven. Hieruit kunnen de afstanden tot de zwaartelij (e_s en e_c) berekend worden.

$$e_s = 1/2h - c - 1/2 * \phi_{hw}$$

$$e_c = 1/2h - 1/3 * x$$

Het momentevenwicht geeft:

$$M_c + M_s = M_{SLS}$$

$$M_c = M_{SLS} - M_s$$

Er worden door middel van gelijkvormigheid de volgende formules opgesteld:

$$M_c = N_s * (1/2h - 1/3x)$$

$$x = \frac{-\left(\frac{M_c}{N_s} - 1/2h\right)}{3}$$

Deze waarde van x kan nu ingevoerd worden in de berekening van $A_{c,eff}$. De waarde van $\sigma_{s,freq}$ kan in de formule voor $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ gebruikt worden.

3.2.4 Horizontale uitwijking

Er is afgebakend dat voor de wanden geen toetsing voor horizontale uitwijking nodig is. Daar scheurvorming maatgevend is, zal de wand voldoende gewapend moeten worden om aan de scheurvormingseis te voldoen. Er mag vanuit worden gegaan dat deze wapening afdoende is voor om ook de horizontale uitwijking in te perken.

3.3 Hoofdwapening – Horizontale richting

De horizontale hoofdwapening, wordt in wanden ook wel krimp- of kruipwapening genoemd. De horizontale hoofdwapening, wordt berekend in het SLS-stadium van de wand waar hij op scheurvorming getoetst moet worden. De wapening wordt berekend aan de hand van elementaire mechanica. Omdat de krachten op de wand dusdanig klein zijn, volstaat met het enkel en alleen aanbrengen van krimp- en kruipwapening in de langsrichting. Dit volgens het boek "Betonconstructies onder Temperatuur- en Krimpvervormingen" Hoofdstuk 5.8 Vereenvoudigde berekeningsmethode (Breugel, 1996).

3.3.1 Controle minimale wapening

De controle voor de minimale wapening, wordt in paragraaf 2.3.1 beschouwd.

3.3.2 Berekening rekken

Eerst worden de rekken bij een onvoltooid ontwikkeld scheurpatroon (OOSP) en een voltooid ontwikkeld scheurpatroon (VOSP) berekend. Om dit te kunnen berekenen zijn een aantal stappen benodigd, waarbij men begint met het scheurcriterium en eindigt met de staalspanning na scheuren.

Het scheurcriterium σ_{cr} wordt als volgt bepaald:

$$\sigma_{cr} = k * k_c * f_{ctm}$$

Waarin:

$$k = 1,0 - (1,0 - c)/(h - d) * (h - d) \quad \text{conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.2;}$$

$$= \text{minimaal } 0,650;$$

$$k_c = 1,0 \quad \text{conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 7.3.2.}$$

De scheurtrekkkracht wordt berekend.

$$N_{cr} = 1,0 * k * f_{ctm} * h_{c,ef} * b$$

Waarin:

$$h_{c,ef} = \min(2,5 * (h - d); h/2) = \min(2,5 * (c + 1/2 * \phi); h/2).$$

Met dit gegeven kan de staalspanning na scheuren berekend worden.

$$\sigma_{s,cr} = \frac{N_{cr}}{A_s}$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} \rightarrow \text{VOSP, kortdurende last: } \varepsilon_{fdc} = (60 + 2,4 * \sigma_{s,cr}) * 10^{-6} = [\text{‰}]$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} \rightarrow \text{VOSP, langdurige last: } \varepsilon_{fdc,\infty} = \gamma_{\infty} * \varepsilon_{fdc} = [\text{‰}]$$

Waarin:

$$\gamma_{\infty} = 1,30$$

De waardes 60 en 2,4 gebruikt bij ε_{fdc} zijn empirisch bepaald.

Als laatste toets moet nog blijken dat $\varepsilon_{krimp} \leq \varepsilon_{fdc}$. Dit omdat de constructie alleen al vanwege het uitharden en inkrimpen van het beton veel rekt. De reden dat ε_{fdc} gecontroleerd wordt, is om de aanname van de berekening te verifiëren.

3.3.3 Optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte

De optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte, wordt berekend als volgt:

$$w_{m0} = 2 * \left\{ \frac{0,4 * \phi}{f_{cm,k} * E_s} * \sigma_{s,cr} * (\sigma_{s,cr} - \alpha_e * \sigma_{cr}) \right\}^{0,85}$$

Waarin:

$$f_{cm,k} = f_{ck,k} + 8$$

$$\alpha_e = E_s/E_c$$

3.3.4 Karakteristieke langeduur scheurwijdte

De langeduur scheurwijdte, wordt berekend aan de hand van de korteduur scheurwijdte.

$$w_{k\infty} = \gamma_s * \gamma_{\infty} * w_{m0}$$

Waarin:

$$\gamma_s = 1,30$$

Als toets moet blijken dat $w_k \leq w_{max}$.

3.4 Hoofdwapening – Detaillierungsregels

3.4.1 Minimale wapeningsverhouding

Naast de bovenstaande minimale wapening (scheurmoment), dient de wapening aan de volgende detaillierungsregels te voldoen. Deze minimale verhouding is buiten de overlappingslassen gerekend. Als eis is gesteld dat, conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.6.1, wapeningsstaven van de verticale en horizontale wapening een diameter moeten hebben van ten minste 5 mm. Bij toepassing van een dubbel wapeningsnet mag, conform NEN-EN 1992-2/NB - art. 9.6.1, de wanddikte h niet kleiner zijn dan 200 mm.

3.4.1.1 Verticale wapening

Zoals vermeld, is $A_{s,vmin}$ berekend ten behoeve van het scheurmoment. Verder dient de hart-op-hartafstand van de hoofdwapening, conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.3.1.1, niet groter te zijn dan $s_{max,slabs}$. Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.6.2 (3) bedraagt deze waarde $3h \leq 400$ mm.

3.4.1.2 Horizontale wapening

Zoals vermeld, is $A_{s,hmin}$ berekend ten behoeve van het scheurmoment. Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.6.3 (2), behoort de hart-op-hartafstand van twee aanliggende horizontale staven niet groter dan 400 mm te zijn.

3.4.2 Maximale wapeningsverhouding

Naast een minimale wapeningsverhouding wordt er ook rekening gehouden met een maximale wapeningsverhouding. Deze maximale verhouding is buiten de overlappingslassen gerekend en is voor zowel de verticale als de horizontale richting gelijk.

$$A_{s,vmax} = 0,04 * A_c \quad \text{NEN-EN 1992-1-1/NB – art 9.6.2 (1)}$$

$$A_{s,hmax} = 0,04 * A_c \quad \text{NEN-EN 1992-1-1/NB – art 9.6.2 (1)}$$

3.4.3 Dwarswapening

Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.6.4 (1) behoort dwarswapening in de vorm van de beugels te zijn aangebracht in overeenstemming met de eisen voor kolommen (zie art. 9.5.3). Dit in elk deel van een wand waarin het totale oppervlak van de doorsnede van de verticale wapening aan de twee zijden groter is dan $0,02 A_c$.

De eisen voor kolommen volgens NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.5.3, zijn als volgt:

De diameter van dwarswapening (beugels, haarspelden of spiraalwapening) behoort niet kleiner te zijn dan 6 mm, of, als deze groter is, een kwart van de maximale diameter van de langsstaven.

De hart-op-hartafstand van de dwarswapening langs de kolom behoort niet groter te zijn dan $s_{cl,tmax}$. De waarde van $s_{cl,tmax}$ moet, conform NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 9.5.3, gelijk zijn genomen aan de kleinste waarde van de volgende drie afstanden.

- 20 maal de minimumdiameter van de langsstaven;

- de kleinste afmeting van de kolom;
- 400 mm.

De maximale hart-op-hartafstand vereist in (3) behoort te zijn verminderd door een factor 0,6;

- in doorsneden binnen een afstand gelijk aan de grootste afmeting van de kolomdwarsdoorsnede boven of ander een balk of plaat;
- nabij overlappingslassen indien de maximale diameter van de langsstaven groter is dan 14 mm. Een minimum van drie saven, gelijkmatig verdeeld over de overlappingslengte, is vereist.

Elke langsstaf of staafbundel in een hoek behoort op zijn plaats te zijn gehouden door dwarswapening. Geen enkele staaf binnen een drukzone behoort verder dan 150 mm vanaf een opgesloten staaf te liggen.

Conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.6.4 (2) behoort dwarswapening te zijn aangebracht in de vorm van beugels, waarvan het aantal ten minste 4 per m² wandoppervlakte is als de hoofdwapening het dichtst bij het wandoppervlak in geplaatst. Dwarswapening hoeft niet te zijn aangebracht als wapeningsnetten en staven met een diameter $\emptyset \leq 16$ mm zijn gebruikte met een betondekking groter van 2 $\emptyset$.

3.4.4 Overige detailleringsregels

Voor de overige detailleringsregels, zoals verankering, overlappingslassen en ombuiging van de wapening, wordt verwezen naar hoofdstuk 2.3.3 tot en met hoofdstuk 2.3.5 van de constructieve berekening van de constructievloer. Deze detailleringsregels worden op dezelfde manier uitgevoerd.

3.5 Dwarskrachtwapening – ULS – dwarskracht

3.5.1 Bepalen dwarskrachtweerstand

De dwarskracht op de constructie dient gecontroleerd te worden. De berekening wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.2.2 en NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 6.2.2. Normalkracht in de wanden, wordt voor deze berekening buiten beschouwing gelaten.

De dwarskracht V_{Ed} moet kleiner zijn dan de dwarskrachtweerstand $V_{Rd,c}$. De dwarskrachtweerstand wordt berekend volgens NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 6.2a:

$$V_{Rd,c} \geq V_{Rd,c,min}$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} * k * (100 * \rho_1 * f_{ck})] * b_w * d \geq (v_{min}) * b_w * d$$

Waarin:

$$C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c;$$

γ_c is de partiële factor van beton voor uiterste grenstoestanden;

$$k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2,0 \text{ met } d \text{ in } mm;$$

$$\rho_1 = A_{sl}/b_w * d \leq 0,02;$$

A_{sl} is de oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening, die $\geq (l_{bd} + d)$ voorbij de beschouwde doorsnede doorloopt;

b_w is de kleinste breedte van de dwarsdoorsnede in de zone onder trek (mm);

f_{ck} is in N/mm²;

$$d = h - c - 0,5 * \emptyset_{hw};$$

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

Wanneer de dwarskracht groter is dan de dwarskrachtweerstand, dient de gehele dwarskracht door de wapening (beugels) opgenomen te worden.

3.5.2 Bepalen dwarskrachtwapening

Het berekenen van elementen met dwarskrachtwapening is gebaseerd op een vakwerkmodel. De grenswaarde voor de hoek θ zijn:

$$1 < \cot \theta < 2,5 \text{ (NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 6.2.3 (2))}$$

De dwarskrachtweerstand bedraagt met verticale dwarskrachtwapening (EN-1992-1-1 – vgl. 6.8):

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s_w} * z * f_{yd} * \cot \theta$$

Deze formule kan omgeschreven worden tot een ontwerpformule voor de benodigde dwarskrachtwapening. Gesteld wordt dat de optredende dwarskracht gelijk is aan de weerstand.

$$V_{Ed} = V_{Rd}$$

De ontwerpformule geeft een oppervlakte. Deze oppervlakte dient bij eventuele dubbelsnedige beugels gehalveerd te worden.

$$\frac{A_{sw}}{s_w} = \frac{V_{Ed}}{z * f_{yd} * d * \cot \theta}$$

3.5.3 Controle drukdiagonaal

Als laatste dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Als er een overbodige hoeveelheid dwarskrachtwapening wordt toegepast, is het mogelijk dat de drukdiagonaal van het beton bezwijkt. Om dit te voorkomen wordt er een grenswaarde aan de dwarskrachtweerstand gesteld (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 6.9).

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * b_w * z * v_1 * f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

Waarin:

$$\begin{aligned} \alpha_{cw} &= 1,0 \text{ voor niet voorgespannen constructies (NEN-EN 1992-1-1/NB – art. 6.2.3 (3));} \\ z &= 0,9 * d \\ v_1 &= 0,6 * [1 - f_{ck}/250] \text{ (NEN-EN 1992-1-1 – art. 6.2.3 (3) opm. 1);} \\ \theta &\text{ varieert tussen } 21,8 \text{ en } 45 \text{ graden.} \end{aligned}$$

3.6 Dwarskrachtwapening – detailleringsregels

Net zoals voor de hoofdwapening zijn er in NEN-EN 1992-1-1 – art. 9.2.2 detailleringsregels opgesteld voor de dwarskrachtwapening.

De dwarskrachtwapening behoort een hoek te maken met de lengteas van de constructie. Deze hoek dient tussen de 45 en 90 graden te zijn.

De maximale hart-op-hartafstand in langsrichting in opeenvolgende vlakken dwarskrachtwapening behoort niet groter te zijn dan $s_{l,max}$ (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 9.6N):

$$s_{l,max} = 0,75 * d(1 + \cot \alpha)$$

Waarin α de hoek van de dwarskrachtwapening ten opzichte van de lengteas van de ligger.

De hart-op-hartafstand van de benen van een serie dwarskrachtbeugels behoort in dwarsrichting niet groter te zijn dan $s_{t,max}$ (NEN-EN 1992-1-1 – vgl. 9.8N):

$$s_{t,max} = 0,75 * d \leq 600mm.$$

4. Opdrijving

De opdrijving wordt gecontroleerd conform NEN 9997-1 – art. 2.4.7.4 en NEN 9997-1 – Bijlage A.4. Hierin dient de aandrijvende belasting kleiner te zijn dan de rustende belasting.

$$G_{dst,d} + Q_{dst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

4.1 Aandrijvende belasting

De aandrijvende belasting bestaat uit een permanent gedeelte en een variabel gedeelte.

Het permanente gedeelte bedraagt de opwaartse druk onder de gemiddeld lage grondwaterstand (GLG), het variabele gedeelte bedraagt de opwaartse druk tussen de GLG en de GHG.

De permanente aandrijvende belasting bedraagt:

$$G_{dst,d} = (GLG - o.k. vloer) * 10 * B_{vloer}$$

De variabele aandrijvende belasting bedraagt conform ROK 1.4 – art. 10.2:

$$Q_{dst,d} = (GHG - GLG) * 10 * B_{vloer}$$

Waarin GHG een fictieve grondwaterstand kan zijn. GHG bedraagt de minimale waarde van GHG en $GLG + (b.k. wand - GLG) / \gamma_{Qdst}$

4.2 Rustende belasting

De rustende belasting bestaat uit het eigen gewicht van de betonconstructie en het grondmassief welke aanwezig is op de eventuele oren van de constructie. In de casus zijn er geen oren aanwezig, waardoor $R_k = 0$ kN gesteld wordt.

De rustende belasting bestaat uit het eigen gewicht van de constructievloer en het eigen gewicht van beide wanden. Deze belasting is gecontroleerd in "Bijlage B2 - Handberekening eigen gewicht".

4.3 Belasting factoren

Om het opdrijven te controleren, worden er aan de berekende belastingen factoren gekoppeld. Het eigen gewicht van de constructie werkt in deze berekening gunstig. Hoe groter het eigen gewicht, des te kleiner is de kans op opdrijving. De partiële factoren worden weergegeven in NEN 9997-1 – Tabel A.4, deze tabel is onderstaand weergegeven. Wanneer de veranderlijke grondwaterstand na vermenigvuldiging met $\gamma_{Qdst} = 1,5$ fysiek niet kan optreden (boven b.k. wand), mag de fysieke grens met $\gamma_{Gdst} = 1,0$ aangehouden worden (ROK 1.4 – art. 10.2)

Tabel 1: UPL partiële factoren

Tabel A.15 — Partiële factoren op belastingen (γ_F)		
Belasting	Symbool	Waarde
Blijvend		
Ongunstig ^a	γ_{Gdst}	1,0
Gunstig ^b	γ_{Gstb}	0,9
Veranderlijk		
Ongunstig ^a	γ_{Qdst}	1,5
^a Aandrijvend.		
^b Weerstandbiedend.		

5. Voorbeeldberekening

Er is gekozen om de wapening van de constructievloer, vanuit de casus verder uit te werken. Dit zodat de uitwerking van de SLS en ULS meer vorm krijgt. De onderzijde van de vloer, ter plaatse van het veld, wordt uitgewerkt. Tevens wordt deze snede getoetst op scheurvorming.

5.1 Uitgangspunten

Beton:

$$A_c = 1000 * 937 = 937000 \text{ mm}^2$$

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 1000 * 937^2 = 146,3 * 10^6 \text{ mm}^3$$

C35/45

$$E_c = 34100 \text{ N/mm}^2$$

Wapeningsstaal:

$$A_s = \frac{1000}{125} * 201 \text{ mm}^2 = 1608 \text{ mm}^2/\text{m}^1 (\text{Ø}16 - 125)$$

$$d = 800 - 60 - \frac{16}{2} = 732 \text{ mm}$$

B500B

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

5.2 Belastingeffecten

$$\text{ULS} \quad M_{Ed} = 513 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{Ed} = -197 \text{ kN/m}^1$$

$$\text{SLS} \quad M_{Ed} = 260 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{Ed} = -241 \text{ kN/m}^1$$

De normaalkracht vanuit het SCIA Engineer model, wordt verminderd door de normaaltrekkkracht vanuit het belastinggeval krimp/kruip. Deze trekkkracht bedraagt in dwarsrichting: $N_T = 218 \text{ kN}$.

Ook wordt er in de SLS-situatie gerekend met 25% verlies. In de ULS-situatie wordt de normaalkracht berekend met 25% en een gunstige belastingcombinatie (0,9)

De meegenomen normaalkracht bedragen:

$$N_{Ed,ULS} = -197 * 0,75 * 0,9 = -133 \text{ kN (normaaldrukkracht)}.$$

$$N_{Ed,SLS} = -241 * 0,75 + 218 = 37 \text{ kN (normaaltrekkkracht)}.$$

5.3 Controle snede ULS – buigend moment en normaalkracht

Als eerste zal in de ULS het buigend moment in combinatie met de normaalkracht getoetst worden.

5.3.1 Controle scheurmoment

$A_{s,min1}$ is, volgens NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1, het benodigde oppervlak om de combinatie van het moment $M_{E,min}$ en de normaalkracht $N_{E,min}$ te kunnen opnemen.

Waarin:

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \frac{\eta}{\eta - 1} = 3,2 * 146,3 * 10^6 * \frac{24,7}{24,7 - 1} * 10^{-6} = 490 \text{ kNm}$$

Waarbij:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 1000 * 937^2 = 146,3 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ (C35/45)}$$

$$\eta = \frac{e * A_c}{W} = \frac{3859 * 937000}{145,3 * 10^6} = 24,7$$

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{513 * 10^6}{133 * 10^3} = 3859 \text{ mm}$$

De minimale wapening moet minimale een moment van 490 kNm op kunnen nemen.

5.3.2 Bepaling bezwijkmoment

Allereerst zal er een horizontaal evenwicht plaats moeten vinden.

$$\sum H = 0 \rightarrow N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$N_c = \alpha * b * x_u * f_{cd}$$

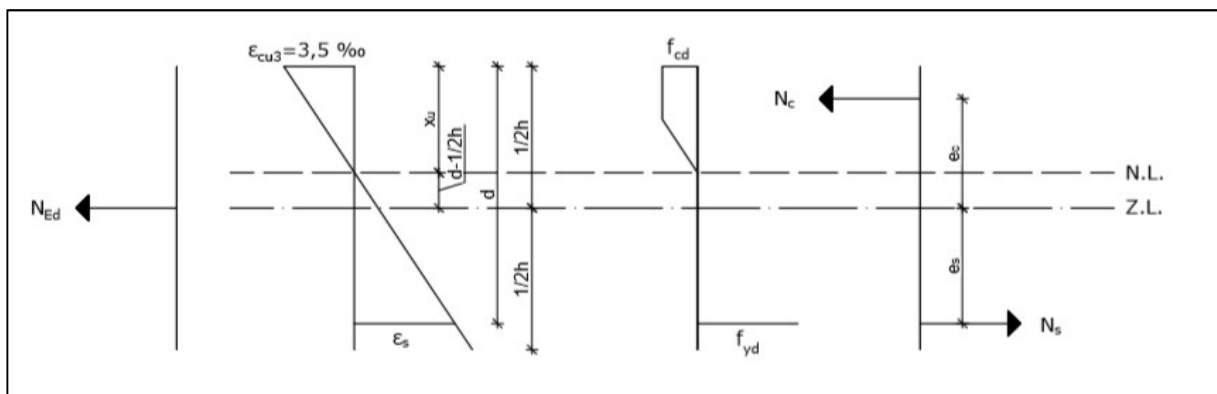
$$N_s = A_s * f_{yd}$$

Bepaling maximale betondrukzone x_u :

$$x_u = \frac{A_s * f_{yd} - N_{Ed}}{\alpha * b * f_{cd}} = \frac{1608 * 435 - -133000}{0,75 * 1000 * 23,3} = 47,7 \text{ mm}$$

$$A_s = 1608 \text{ mm}^2/\text{m}^1 (\text{Ø}16 - 125)$$

$$\alpha = 0,75 (C35/45)$$



Figuur 16: Spanning- en rek figuren

Bepalen rek staal ϵ_s

De ϵ_s moet bepaald worden aan de hand van gelijkvormigheid van driehoeken.

$$\frac{\epsilon_{cu}}{x_u} = \frac{\epsilon_s}{(d - x_u)}$$

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu} * (d - x_u)}{x_u}$$

$$d = 869 \text{ mm}$$

$$x_u = 47,7 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{3,5 * 10^{-3} * (869 - 47,7)}{47,7} = 0,060$$

De vloeigrens van staal is 2,175 ‰ dus het staal vloeit.

Bepalen trekkracht in staal N_s

$$N_s = A_s * f_{yd} = 1608 * 435 = 700000 \text{ N}$$

Controle horizontaal evenwicht $\sum H = 0$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$N_c = \alpha * b * x_u * f_{cd} = 0,75 * 1000 * 47,7 * 23,3 = 833000 \text{ N}$$

$$833000 - 700000 + -133000 = 0 \rightarrow x_u \text{ is juist}$$

Bepaling bezwijkmoment M_{Rd}

$$e_s = -\frac{1}{2}h + d = -\frac{1}{2} * 937 + 869 = 400,5 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * e_s = 700000 * 400,5 * 10^{-6} = 280 \text{ kNm}$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \beta * x_u = \frac{1}{2} * 937 - \frac{7}{18} * 47,7 = 450 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * e_c = 833000 * 450 * 10^{-6} = 375 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 280 + 375 = 655 \text{ kNm}$$

$$M_{E,min} = 490 \text{ kNm} \rightarrow M_{Ed} \leq M_{Rd} \rightarrow \text{voldoet}$$

Toets op scheurvorming is benodigd. Deze wordt in de SLS uitgewerkt.

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

$$\frac{x_u}{d} \leq \frac{500}{500 + f_{yd}}$$

$$\frac{39,5}{869} \leq \frac{500}{500 + 435} \rightarrow 0,05 \leq 0,53 \rightarrow \text{voldoet}$$

5.4 Controle snede SLS – buigend moment en normaalkracht

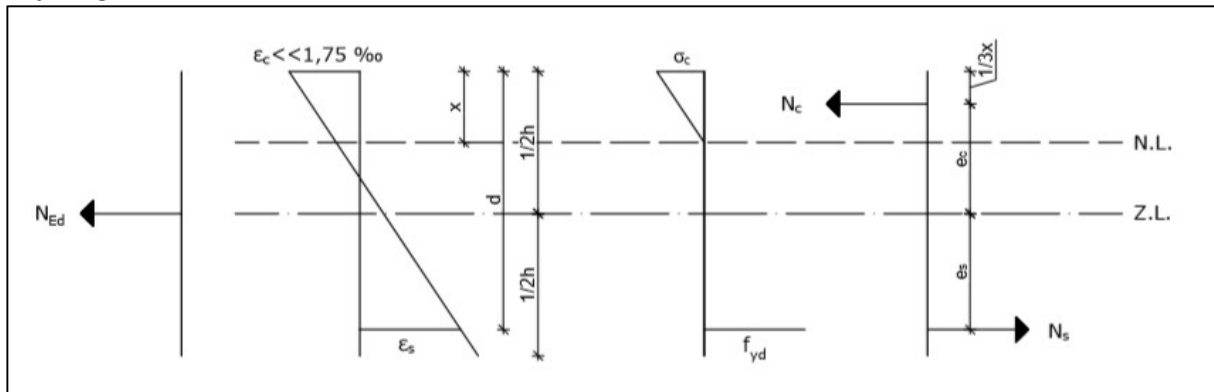
Als tweede zal in de SLS het buigend moment in combinatie met de normaalkracht getoetst worden. De belastingen in de SLS zijn als volgt:

$$M_{Ed} = 260 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{Ed} = 37 \text{ kN/m}^1$$

5.4.1 Bepaling betondrukzone x

Bepaling excentriciteit



Figuur 17: SLS-Situatie

$$e_s = \frac{1}{2}h - c - \frac{h_w}{2} = \frac{1}{2} * 937 - 60 - \frac{16}{2} = 400,5 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \frac{1}{3}x = \frac{1}{2} * 937 - \frac{1}{3}x$$

Controle horizontaal evenwicht $\sum H = 0$

$$\sum H = 0 \rightarrow N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$\sigma = \varepsilon * E$$

$$N_c = \frac{1}{2}x * b * \sigma_c = \frac{1}{2}x * b * E_{cm} * \varepsilon_c$$

$$N_s = A_s * \sigma_s = A_s * E_s * \varepsilon_s$$

Vervangen rek staal ε_s

De ε_s moet bepaald worden aan de hand van gelijkvormigheid van driehoeken.

$$\frac{\varepsilon_c}{x_u} = \frac{\varepsilon_s}{e_s + (\frac{1}{2}h - x)}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_c * (e_s + \frac{1}{2}h - x)}{x}$$

$$N_s = A_s * E_s * \varepsilon_c * \frac{(e_s + \frac{1}{2}h - x)}{x}$$

Opstellen vergelijkingen

$$\frac{N_c}{\varepsilon_c} = \frac{1}{2}x * b * E_{cm} (a)$$

$$\frac{N_s}{\varepsilon_c} = A_s * E_s * \frac{(e_s + \frac{1}{2}h - x)}{x} \quad (b)$$

Waarin:

$$\varepsilon_c = \frac{-N_{Ed}}{(a) - (b)}$$

De krachten en de momenten in het beton en betonstaal bedragen:

$$N_c = (a) * \varepsilon_c$$

$$N_s = (b) * \varepsilon_c$$

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Om bovenstaande berekeningen op te lossen worden twee vergelijkingen opgesteld.

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$M_s + M_c - M_{Ed,SLs} = 0$$

Door een x waarde te kiezen, zodanig dat deze vergelijkingen voldoen, worden deze vergelijkingen opgelost. Vervolgens moet deze x alleen nog gecontroleerd worden.

$$x = 112,6 \text{ mm}$$

5.4.2 Controle vergelijkingen

$$e_s = \frac{1}{2}h - c - \frac{h_w}{2} = \frac{1}{2} * 937 - 60 - \frac{16}{2} = 400,5 \text{ mm}$$

$$e_c = \frac{1}{2}h - \frac{1}{3}x = \frac{1}{2} * 937 - \frac{1}{3} * 112,6 = 431 \text{ mm}$$

$$(a) = \frac{1}{2}x * b * E_{cm} = 0,5 * 112,6 * 1000 * 34100 = 1920 * 10^6$$

$$(b) = A_s * E_s * \frac{(e_s + \frac{1}{2}h - x)}{x} = 1608 * 200000 * \frac{400,5 + 0,5 * 937 - 112,6}{112,6} = 2160 * 10^6$$

$$\varepsilon_c = \frac{-N_{Ed}}{(a) - (b)} = \frac{-37000}{1920 * 10^6 - 2160 * 10^6} = 1,54 * 10^{-4}$$

$$N_c = 0,5 * 112,6 * 1000 * 34100 * 1,54 * 10^{-4} = 295000 \text{ N}$$

$$N_s = 1608 * 200000 * 1,54 * 10^{-4} * \frac{(400,5 + 0,5 * 937 - 112,6)}{112,6} = 332000 \text{ N}$$

$$\sum H = 0 \rightarrow 295000 - 332000 + 37000 = 0 \rightarrow \text{Voldoet}$$

$$M_c = N_c * e_c = 295000 * 431 = 127 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_s = N_s * e_s = 332000 * 400,5 = 133 * 10^6 \text{ Nmm}$$

$$127 + 133 - 260 = 0 \rightarrow \text{Voldoet}$$

Hiermee is gecontroleerd dat de betondrukzone x correct bepaald is.

5.4.3 Controle scheurvorming

Als laatste moet de scheurvorming berekend worden.

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

De maximale scheurafstand $s_{r,max}$ wordt bepaald.

$$s_{r,max} = k_3 * c + \frac{k_1 * k_2 * k_4 * \emptyset}{\rho_{p,eff}} \leq \max\{(50 - 0,8 f_{ck})\emptyset; 15\emptyset\}$$

$$s_{r,max} = 3,4 * 60 + \frac{0,8 * 0,5 * 0,425 * 16}{0,00946} \leq \max\{(50 - 0,8 * 35)16; 15 * 16\} = 352mm$$

k_1 = 0,8 voor staven met een hoge aanhechting.

k_2 = 0,5 voor buiging en 1,0 voor zuivere trek

k_3 = 3,4 (NB – 7.3.4 (3))

k_4 = 0,425 (NB – 7.3.4(3))

c = dekking op de langswapening

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{1608}{170000} = 9,46 * 10^{-3}$$

Waarin:

$A_{c,eff} = b * h_{c,eff}$, met $h_{c,eff} = \min \{2,5(937-869); (937-93,2^*)/3; 937/2\} = 170 \text{ mm}$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 * \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{206,5 - 0,4 \frac{3,21}{0,00946} (1 + 5,87 * 0,00946)}{200000} \geq 0,6 * \frac{206,5}{200000} = 0,00062$$

Hierin zijn de volgende variabele gedefinieerd:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{34100} = 5,87$$

$$\sigma_s = \frac{F}{A} = \frac{332000}{1608} = 206,5$$

De scheurwijdte wordt getoetst aan de volgende formule:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \leq w_{max} * k_c$$

$$k_c = \frac{c_{toe}}{c_{nom}} = \frac{60}{45} = 1,33$$

$$w_k = 352 * 0,00062 \leq 0,2 * 1,33 \rightarrow 0,22 \leq 0,27 \text{ Voldoet}$$

6 Literatuur

- Braam, C. d. (2011). *Constructie leer Gewapend Beton* (Vol. Cement en Beton 2). Boxtel: AEnear, uitgeverij van vakinformatie bv.
- Braam, d. i. (2010). *Ontwerpen in gewapend beton* (Vol. Cement en Beton 4). Boxtel: AEnear, uitgeverij van vakinformatie bv.
- Braam, d. i. (2011). *Constructie leer Gewapend Beton* (Vol. Cement en Beton 2). Boxtel: AEnear, uitgeverij van vakinformatie bv.
- Breugel, K. v. (1996). *Betonconstructies onder Temperatuur- en Krimpvervormingen*. "s-Hertogenbosch: BetonPrisma.
- Cement en Beton. (2018, 03 28). *Hogesterktebeton*. Opgehaald van Cement en Beton: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/innovaties/hogesterktebeton>
- NEN 9997-1. (2016). *Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN-EN 1992-1-1+C2+NB. (2011). *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN-EN 1992-2. (2011). *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Betonnen bruggen - Regels voor ontwerp, berekening en detaillering*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN-EN 1992-3. (2006). *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 3: Constructies voor keren en opslaan van stoffen*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- NEN-EN 1997-1. (2008). *Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.
- TU Delft. (2018, 03 28). *Staalbetonbruggen hoofdstuk 4*. Opgehaald van Staalbetonbruggen: <http://mstudioblackboard.tudelft.nl/staalbetonbruggen/staalbetonbruggen4/hfdstuk4.htm>



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage F1

Berekeningsrapportage





Inhoudsopgave

1 Invoergegevens

- 1.1 Geometrie
- 1.2 Geotechnische gegevens
- 1.3 Constructieve gegevens
- 1.4 Materiaalgegevens
- 1.5 Betondekking
- 1.6 Rustende belasting
- 1.7 Verkeersgegevens

2 Permanente belasting

- 2.1 Eigen gewicht
- 2.2 Rustende belasting
- 2.3 Grond-, water- en korrelspanning
- 2.4 Grondmassief op oor
- 2.5 Krimp- en kruipbelasting

3 Variabele belasting

- 3.1 Mobiele belasting op rijweg - LM1
- 3.2 Enkele aslast - LM2
- 3.3 Bijzondere voertuigen - LM3
- 3.4 Mensenmenigte - LM4
- 3.5 Rembelasting door wegverkeer
- 3.6 Thermische belasting
- 3.7 Bovenbelasting op maaiveldniveau
- 3.8 Opspaneffect
- 3.9 Mechanische verdichten
- 3.10 Sneeuwbelasting

4 Grendstoestanden en belastingcombinaties

- 4.1 Uiterste Grenstoestanden
- 4.2 Bruikbaarheidsgrenstoestand
- 4.3 Belastingfactoren
- 4.4 Combinatiefactoren
- 4.5 Resumerend overzicht (belastingcombinatiesleutel)

5 Wapening vloerconstructie

- 5.1 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)
- 5.2 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld)
- 5.3 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)
- 5.4 Wapening in vloer - Onderzijde (veld) - Lengterichting
- 5.5 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld) - Lengterichting
- 5.6 Dwarskracht in de vloer

6 Wapening wandconstructie

- 6.1 Wapening in wand - Grondzijde dikke wand - Verticale wapening
- 6.2 Wapening in wand - Zichtzijde dikke wand
- 6.3 Wapening in wand - Grondzijde dunne wand - Verticale wapening
- 6.4 Wapening in wand - Zichtzijde dunne wand
- 6.5 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dikke wand - Horizontale wapening
- 6.6 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dunne wand - Horizontale wapening
- 6.7 Dwarskracht in de wand - Dikke wand
- 6.8 Dwarskracht in de wand - Dunne wand

7 Opdrijven

8 Wapeningsresume

1 Invoergegevens

In dit hoofdstuk worden de verschillende parameters benoemd. In dit hoofdstuk is het mogelijk om de geometrie van de tunnelbak in te voeren, ook worden de geotechnische gegevens en de materiaaleigenschappen benoemd. Met deze gegevens wordt de gehele berekening in de tool uitgevoerd.

1.1 Geometrie

Om te zorgen dat de geometrie alle mogelijkheden afdekt, zijn er twee varianten weergegeven. Er dient een keuze gemaakt te worden tussen deze twee varianten.

Variant A bevat de volgende geometrieën.

- Wanden met verjonging
- Schuine wanden
- Rechte wanden
- Een combinatie van bovenstaande

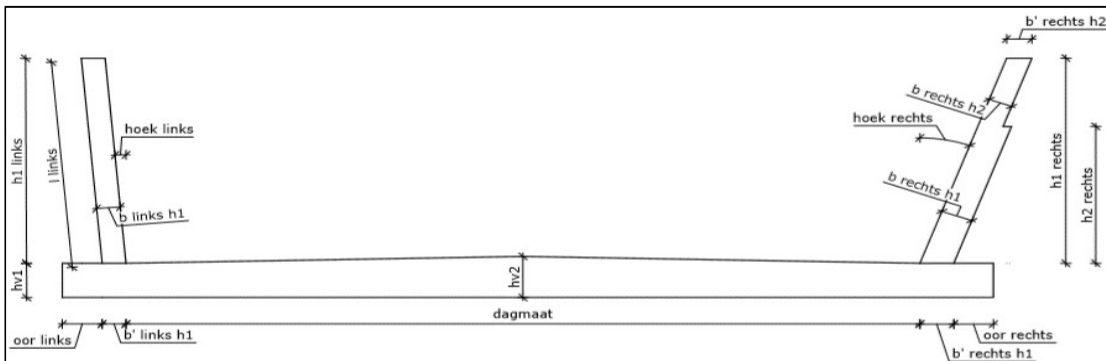
Variant B bevat de volgende geometrieën.

- Taps toelopende wanden
- Rechte wanden
- Een combinatie van bovenstaande

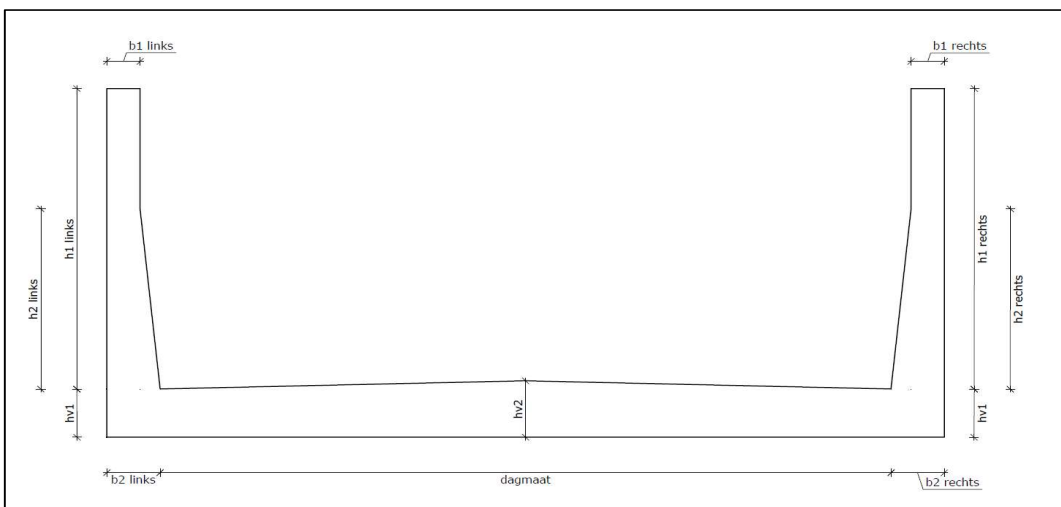
De gebruikte variant dient accuraat gekozen te worden, daar variant B niet voldoet voor gegevens vanuit variant A.

Variant B

Indien variant A gebruik wordt, dienen er bij variant B geen invoerwaardes ingevuld te worden. Als variant B gehanteerd wordt, geldt hetzelfde voor variant A.



Variant A

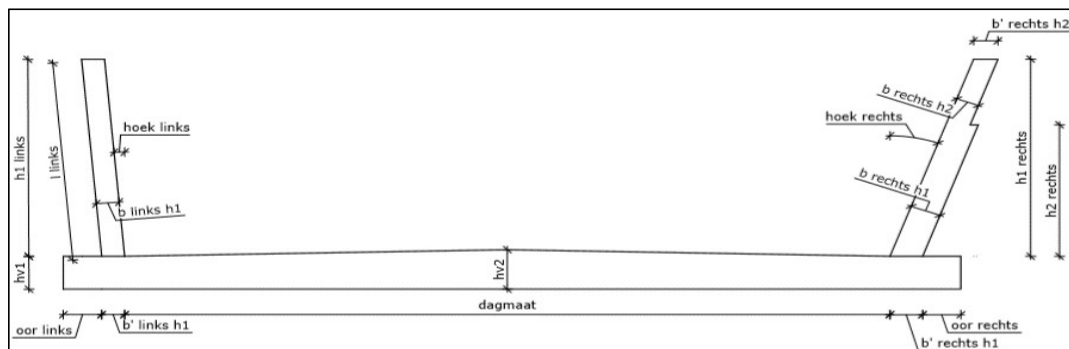


Variant B

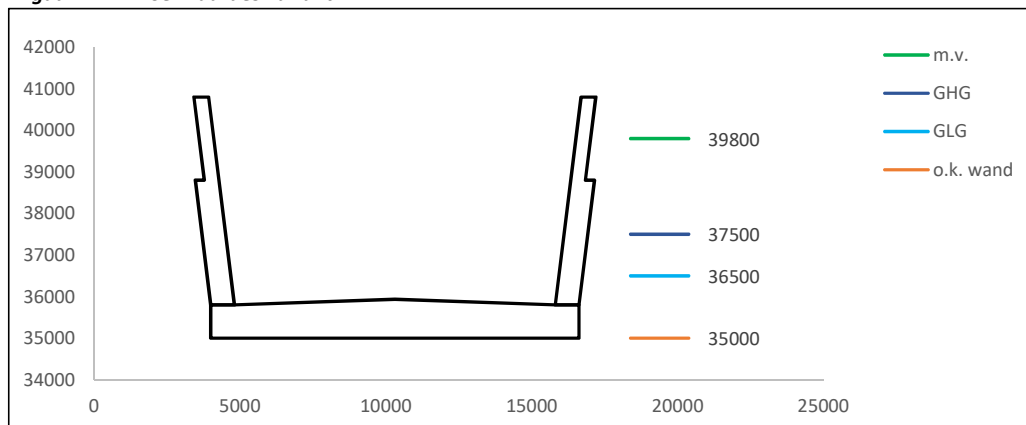
Geometrie tunnelbak (Variant A)

Als eerste wordt de geometrie van de tunnelbak bepaald. In figuur 1.1 is uitleg gegeven over de in te vullen parameters.

Vloerdikte h_{v1}	800 mm	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen
Vloerdikte h_{v2}	937 mm	
Breedte dagmaat	11000 mm	
Wanddikte b links h_1	800 mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b' links h_1	812 mm	
Wanddikte b links h_2	500 mm	Dikte verjongt gedeelte, zonder verjonging dikte $h_2 =$ dikte h_1
Wanddikte b' links h_2	508 mm	
Wandhoogte h_1 links	5000 mm	
Wandhoogte h_2 links	3000 mm	Zonder verjonging $h_2 = 0$
Wandlengte l links	5077 mm	
Wanddikte b rechts h_1	800 mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b' rechts h_1	812 mm	
Wanddikte b rechts h_2	500 mm	Dikte verjongt gedeelte, zonder verjonging dikte $h_2 =$ dikte h_1
Wanddikte b' rechts h_2	508 mm	
Wandhoogte h_1 rechts	5000 mm	
Wandhoogte h_2 rechts	3000 mm	Zonder verjonging $h_2 = 0$
Wandlengte l rechts	5077 mm	
Buitenmaat totaal vloer	12625 mm	
Oorbreedte links	0 mm	
Oorbreedte rechts	0 mm	
Hoek wand links	10 graden	
Hoek wand rechts	10 graden	
Buitenmaat constructie	14388 mm	
Lengte moot	25 m	
Geleiderail/middenberm	Middenberm	
Geleiderail/stepbarrier	Halve stepbarrier	



Figuur 1.1: Invoerwaardes variant A

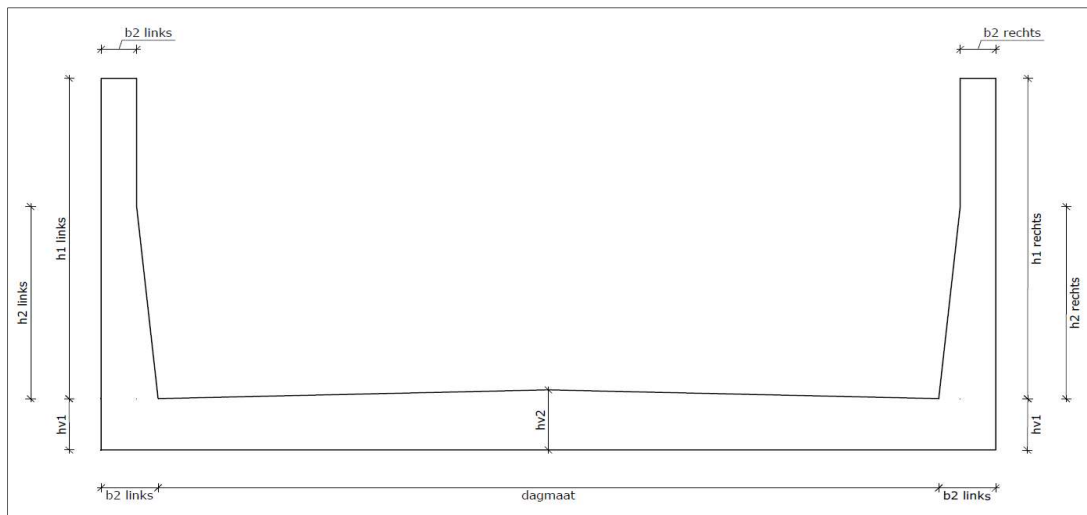


Figuur 1.2: Geometrie tunnelbak variant A

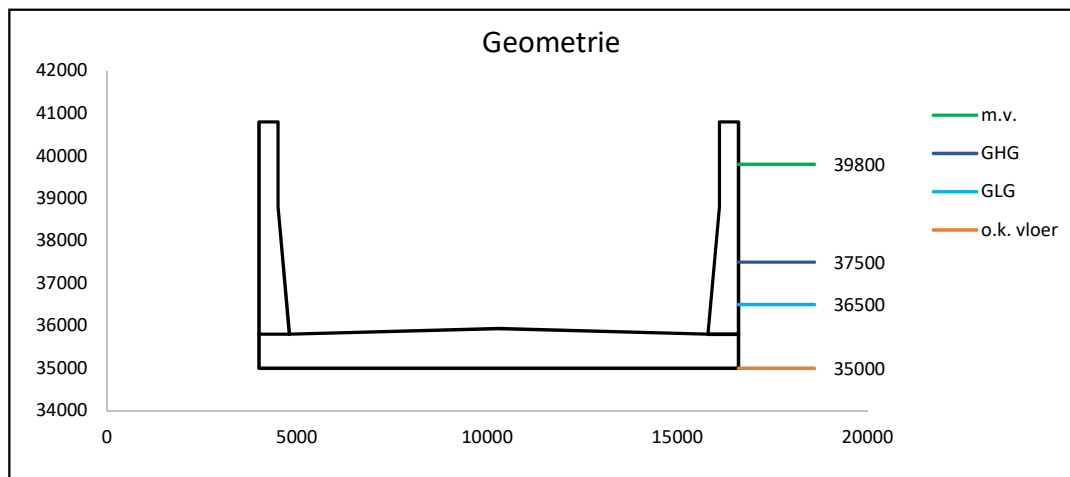
Geometrie tunnelbak (Variant B)

Als eerste wordt de geometrie van de tunnelbak bepaald. In figuur 1.3 is uitleg gegeven over de in te vullen parameters.

Vloerdikte h_{v1}	800	mm	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen
Vloerdikte h_{v2}	937	mm	
Breedte dagmaat	11000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 links	5000	mm	
Wandhoogte h_2 links	3000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 rechts	5000	mm	
Wandhoogte h_2 rechts	3000	mm	
Buitenmaat totaal vloer	12600	mm	
Oorbreedte links	0	mm	
Oorbreedte rechts	0	mm	
Lengte moot	25	m	
Geleiderail/middenberm	Middenberm		
Geleiderail/stepbarrier	Halve stepbarrier		



Figuur 1.3: Invoerwaardes variant B



Figuur 1.4: Geometrie tunnelbak variant B

1.2 Geotechnische gegevens

De geotechnische gegevens worden ingevoerd.

Maaiveld	39,8	m + NAP
GHG	37,5	m + NAP
GLG	36,5	m + NAP
o.k. vloer	35	m + NAP

De grondsoort in het beschouwde gebied.

Grondsoort:	Zand	
γ_{dry}	18	kN/m ³
γ_{sat}	20	kN/m ³
γ_{water}	10	kN/m ³
ϕ	30	°
δ	-20	°

De bedding van de ondergrond bedraagt conform opgave opdrachtgever:

k_H	1	MN/m ¹ /m ¹
k_V	10	MN/m ¹ /m ¹

De neutrale gronddrukfactor k_0 wordt bepaald aan de hand van de hoek van inwendige wrijving. $k_0 = 1 - \sin(\phi)$.

$$k_0 = 0,5$$

De passieve gronddrukfactor k_p wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$k_p = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) * \sin \phi / \cos \delta)^{0,5})^2 = 5,74$$

Als bovenbelasting op het maaiveld direct naast de constructie wordt aangehouden, conform NEN-EN 9997-1 art. 2.4.2:

$$p_k = 20 \text{ kN/m}^2$$

Er wordt als rustende belasting op de wanden voor eventuele randelementen een belasting aangehouden.

$$F_k = 5 \text{ kN}$$

De onderstaande parameters zijn geldig voor het mechanisch verdichten.

Voor de passieve gemobiliseerde gronddruk moet een parameter (a) ingevoerd worden. Deze waarde varieert tussen 0,01 voor vastgepakt zand en 0,1 voor los gepakt zand. Voor in lagen verdicht zand kan a = 0,03 worden aangehouden.

Pakking ondergrond:	in lagen verdicht
a	= 0,03 -

Bij verdichten met een trilplaat wordt aangehouden dat: $b_{tril} = 0,8 \text{ m}$

1.3 Constructieve gegevens

De tunnelbak wordt in de volgende consequence class geplaatst, waarbij de volgende gegevens behoren.

Conc. Classe	=	CC2
6.10a	=	1,3 -
6.10b	=	1,2 -
6.10 gunstig	=	0,9 -
Var. Verkeer	=	1,35 -
Var. Overige	=	1,5 -

De levensduur van de constructie	=	100	jaar
De ouderdom ten tijde van belasten	=	90	dagen
De ouderdom aan het einde van de nabehandeling	=	2	dagen

1.4 Materiaalgegevens

De gegevens van het beton, betonstaal en asfalt worden onderstaand gegeven.

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Betonsterkteklasse **C35/45**

$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$	$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$	$f_{ck,k} = 45 \text{ N/mm}^2$
$f_{cd} = 23,3 \text{ N/mm}^2$	$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$	
$f_{ctd} = 1,5 \text{ N/mm}^2$	$\alpha = 0,75 -$	
$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$	$\beta = 0,39 -$	
$f_{cm} = 43 \text{ N/mm}^2$	$\rho_{\min} = 0,17 \text{ ‰}$	
$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$	$\rho_{\max} = 1,8 \text{ ‰}$	

Voor de relatieve vochtigheid van de betonconstructie wordt de onderstaande waarde gevonden.

Betonconstructie: **buitenlucht niet boven water**

$$RH = 75 \text{ ‰}$$

Cementklasse: **Klasse N**

$$\alpha_{ds1} = 4 \quad \alpha_{ds2} = 0,12$$

Betonstaal **B500B**

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{\text{asfalt}} = 23 \text{ kN/m}^3$$

Dikte asfaltverharding **120** mm

Dikte uitvullaag **30** mm +

Totale asfaltdikte 150 mm

De ondergrond van het constructieve beton bestaat uit: **Werkvloer**

De onderstaande waarden worden gebruikt tijdens de berekening van de schuifspanning, welke ontstaat door de krimpinvloed. Conform CUR Aanbeveling 166 - Tabel 4.

$$\tau_0 = 25 \text{ kN/m}^2 \quad \mu_0 = 2,5 - \quad \beta_p = 30 \text{ ‰}$$

1.5 Betondekking

Om de betondekking te bepalen, dienen de milieuklasse en constructieve klasse bekend te zijn. Omdat deze klasse van een groot aantal factoren afhankelijk zijn, is ervoor gekozen om deze waarden handmatig weer te geven.

In tabel 1.1 is een overzicht weergegeven, waarin naast de betondekking ook de maximale scheurwijdte gegeven is.

Tabel 1.1: Waarden dekking en maximaal scheurwijdte

Constructie-onderdeel	Milieuklasse	Constructie klasse	$C_{\min}$	ΔC_{dev}	C_{nom}	$w_{\max}$
Tunnelvloer						
Bovenzijde	XC4/XD3/XF4	S5	50	10	60	0,2
Onderzijde	XC2	S5	35	10	45	0,2
Wanden						
Zichtzijde	XC4/XD3/XF4	S5	45	10	55	0,2
Grondzijde	XC2/XC4	S5	30	10	40	0,2

De toegepaste dekking over de gehele constructie bedraagt: **60** mm

1.6 Rustende belasting

Ten behoeve van de rustende belastingen, dienen een aantal variabele zaken ingevoerd te worden. Er wordt gekozen tussen barriers, halve barriers of een geleiderails. In de midden van de tunnelbak wordt er gekozen tussen een middenberm en een dubbele geleiderails.

Er wordt bovenstaand gekozen voor:

Halve stepbarrier

Middenberm

De geleiderails en dubbele geleiderails zijn standaard profielen, waarvan de afmetingen bekend zijn. Ook de stepbarriers zijn standaardprofielen, echter kunnen er halve of hele stepbarriers toegepast worden.

Voor de middenberm dient een dikte en een breedte ingegeven te worden.

Dikte middenberm m

Breedte middenberm m

1.7 Verkeersgegevens

Verkeerscategorie Conform tabel 1.2.

Telling aantal vrachtwagens Alleen invoeren wanneer telling naar vrachtverkeer gedaan is.

De verkeerscategorie wordt bepaald aan de hand van onderstaande tabel. Het aantal vrachtwagens wordt per verkeerscategorie weergegeven. Hierin is de trendfactor verwerkt. Ook is er ruimte voor een verkeerstelling gegeven. Het een en ander is toegelicht in par. 3.1 - Lastmodel 1.

Tabel 1.2: Keuze verkeerscategorie

Verkeerscategorie conform NEN-EN 1991-2 tabel NB.5		$N_{obs,a,al}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer
Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer	1	2000000
(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	2	500000
Wegen met weinig vrachtverkeer	3	125000
Wegen met weinig vrachtverkeer en uitsluitend bestemmingsverkeer	4	50000
Eigen invoer	Telling	n.v.t.

De correctiefactoren α_{q1} en α_{Q1} mogen alleen zijn gebruikt, wanneer N_{obs} in de projectspecificatie is voorgeschreven (conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 4.3.2 (3))

N_{obs} voorgeschreven

2 Permanente belasting

Onderstaand worden alle permanente belastingen beschreven. De permanente belastingen bestaan uit het eigen gewicht, de rustende belasting, grond,- water- en korreldrukken en kruip/krimp belasting.

2.1 Eigen gewicht

Als eerste wordt het eigen gewicht van de tunnelbak behandeld. Het eigen gewicht wordt door SCIA Engineer zelf gegenereerd. Om deze reden zijn de verkanting in de constructievloer en de wanddikte accuraat gemodelleerd, zodat het eigen gewicht correct wordt beschreven.

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Conform NEN-EN 1991-1-1 - Tabel A.1}$$

Het totale oppervlakte van de tunnelbak bestaat uit de constructievloer en de twee wanden.

2.2 Rustende belasting

Onderstaand zijn alle rustende belastingen gegeven, welke op de tunnelbak van toepassing zijn. De rustende belasting bestaat uit rijbaanscheiding en kantbescherming, de asfaltconstructie en eventueel de overgangsconstructie.

Als eerste wordt de rijbaanscheiding en de kantbescherming bepaald. Voor de rijbaanscheiding worden in de CROW 2012 drie mogelijkheden gegeven, namelijk: Dubbele geleiderails, barriers en een middenberm. Tevens worden er twee mogelijkheden gegeven voor een kantbescherming, namelijk: Stepbarriers en een geleiderails.

Rustende belasting - Stepbarriers

Aan weerszijden worden stepbarriers toegepast. De oppervlakte en de breedte van de voet van deze barrier is onderstaand gegeven. De hieruit voortvloeiende permanente belasting is gelijk aan:

$$\begin{aligned} A &= 0,16 \text{ m}^2 & p_k &= A * \gamma_{\text{beton}} / b \\ b &= 0,271 \text{ m} & p_k &= 7,4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Rustende belasting - Geleiderails

Aan weerszijden wordt een geleiderails toegepast. De geleiderails zorgt voor onderstaande soortelijk gewicht. De breedte is ook gegeven. Aan de achterzijde van de geleiderails dient een inspectiepad geplaatst te worden met breedte = 0,5 m.

$$\begin{aligned} p_k &= 0,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Dubbele geleiderails

In het midden van de open tunnelbak is een dubbele geleiderails toegepast. De breedte van deze geleiderails en het soortelijk gewicht is onderstaand gegeven:

$$\begin{aligned} p_k &= 0,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Middenberm

In het midden van de open tunnelbak is een middenberm aanwezig. Het oppervlak en de breedte van deze middenberm zijn onderstaand gegeven. Het soortelijk gewicht wordt berekend aan de hand van: $p_k = A * \gamma_{\text{beton}} / b$

$$\begin{aligned} A &= 0,2 \text{ m}^2 & p_k &= 5,0 \text{ kN/m}^2 \\ b &= 1,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Rustende belasting - Asfaltconstructie

Het asfalt op de rijvloer wordt gelijkmatig aangebracht (verkanting bevindt zich in de betonconstructie). De dikte van het asfalt is aangehouden in navolging van ROK1.4 art. 13.12, waaruit een asfaltverharding volgt:

- 50 mm ZOAB
- 50 mm dicht asfaltbeton
- 50 mm deklaag

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{asfalt}} &= 23 \text{ kN/m}^3 & \text{Conform R.O.K.1.4. art. A.6} \\ p_k &= \text{dikte} * \gamma_{\text{asfalt}} = 0,15 * 23 = 3,45 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Rustende belasting - Randelement

Om randelementen te ondervangen, wordt er een mogelijkheid gegeven om een belasting in rekening te brengen op de wanden. Deze belasting bedraagt per wand:

$$F_k = 5 \text{ kN}$$

Resulterende belasting - uit overgangsconstructie

De belasting vanuit de overgangsconstructie wordt enkel aangebracht op de buitenste twee moten van de open tunnelbak. Conform RTD 1011 - art 3.2 bedraagt de minimale lengte, van stootplaten in wegen met een ontwerpsnelheid van 80 km/uur of hoger, 5,0 meter. De minimale lengte van stootplaten in wegen met een ontwerpsnelheid lager dan 80 km/uur is 3,0 meter. De overige afmetingen bedragen:

Overgangsplaat	lengte	=	5	m						
	dikte	=	0,35	m						
Gronddekking	dikte	=	0,5	m						
e.g. stootplaat	=	0,5	*	5	*	0,35	*	25	=	21,88 kN/m ¹
gronddekking	=	0,5	*	5	*	0,50	*	18	=	22,50 kN/m ¹
r.b. asfalt	=	0,5	*	5	*	0,15	*	23	=	8,63 kN/m ¹ +
Totaal									=	53,00 kN/m ¹

2.3 Grond-, water- en korrelspanning

Ten aanzien van de optredende horizontale korreldrukken en waterdrukken is een onderscheid gemaakt in verschillende componenten. Voor de permanente belasting worden de volgende twee componenten meegenomen.

- Horizontale korreldruk (permanente belasting)
- Waterdruk (permanente belasting)

De basis voor de grondmechanica wordt gevormd door het beschouwen van de spanningen in de ondergrond. Grond bestaat uit water, korrels en poriën welke gevuld zijn met water of met lucht. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen grondspanning, waterspanning en korrelspanning.

Grondspanning σ

De grondspanning is gelijk aan het gewicht van de grondlagen boven het beschouwde niveau met daarbij opgeteld het eventuele gewicht van de aanwezige belasting op het maaiveld. Grondspanning is opgebouwd uit twee componenten; de spanning tussen de korrels onderling (de korrelspanning) en de spanning in het poriewater (de waterspanning) $\sigma = \sigma_w + \sigma'$.

Waterspanning σ_w

De poriën staan met elkaar in verbinding. De waterspanning op een bepaald niveau is gelijk aan het gewicht van het water boven dat niveau. Voor het volumieke gewicht van water wordt $\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ aangehouden. De waterdruk is alzijdig.

Korrelspanning σ'

In de grondmechanica wordt de korrelspanning bepaald aan de hand van de basiswet van Terzaghi: $\sigma = \sigma_w + \sigma'$ waaruit volgt:
 $\sigma' = \sigma - \sigma_w$

De waterdruk en korreldruk is hierbij opgesplitst in een permanent deel en een variabel deel. De permanente water- en korreldruk is bepaald aan de hand van de GLG. Het variabele gedeelte is het gedeelte tussen de GLG en de GHG.

De opwaartse grondwaterdruk is hierbij gelijk aan de horizontale grondwaterdruk (alzijdig).

De horizontale korrelspanningen worden bepaald door middel van de vaste verhouding tussen de neutrale gronddrukcoëfficiënt k_0 en de verticale korrelspanning. $\sigma'_{\text{verticaal}} = k_0 * \sigma'_{\text{horizontaal}}$

De hoek van inwendige wrijving (ϕ) is afhankelijk van de grondsoort en weergegeven in invoergegevens.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi) = 0,5$$

De geohydrologische gegevens bedragen:

GHG	=	37,5 m + NAP	o.k. vloer	=	35 m + NAP
GLG	=	36,5 m + NAP	b.k. vloer	=	35,8 m + NAP
Maaiveld	=	39,8 m + NAP	hart vloer	=	35,4 m + NAP

Droge grond:	γ_{dry}	=	18 kN/m ³
Natte grond:	γ_{sat}	=	20 kN/m ³
Water:	γ_{water}	=	10 kN/m ³

De waterdruk en korreldrukken zijn berekend in tabel 2.1.

De permanente- en variabele korreldrukken en grondwaterdrukken worden bepaald op basis van de gemiddelde lage grondwaterstand (GLG) en de gemiddeld hoge grondwaterstand (GHG).

Tabel 2.1: Water- en korreldrukken

	Peil (m + NAP)	Waterdruk (kN/m ²)	$P_{\text{water,p}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{water,Q}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,V,tot}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,tot}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,perm}}$ (kN/m ²)	$P_{\text{korrel,H,var}}$ (kN/m ²)
Maaiveld	39,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GHG	37,5	0,0	0,0	0,0	41,4	20,7	20,7	0,0
GLG	36,5	10,0	0,0	10,0	51,4	25,7	29,7	-4,0
b.k. vloer	35,8	17,0	7,0	10,0	58,4	29,2	33,2	-4,0
hart vloer	35,4	21,0	11,0	10,0	62,4	31,2	35,2	-4,0
o.k. vloer	35	25,0	15,0	10,0	66,4	33,2	37,2	-4,0

De waarden welke zijn weergegeven in tabel 2.1, zijn bepaald door onderstaande formules in te voeren.

$$\text{Waterdruk} = (\text{GHG} - \text{peil}) * \gamma_{\text{water}}$$

$$P_{\text{water,p}} = (\text{GLG} - \text{peil}) * \gamma_{\text{water}}$$

$$P_{\text{water,Q}} = \text{waterdruk} - P_{\text{water,p}}$$

$$\text{Verticale korrelspanning} = (\text{maaiveld} - \text{peil}) * \gamma_{\text{dry}} \text{ (gedeelte boven GHG)}$$

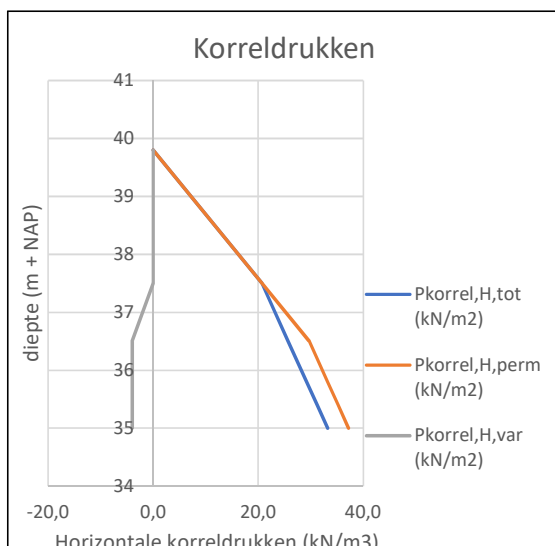
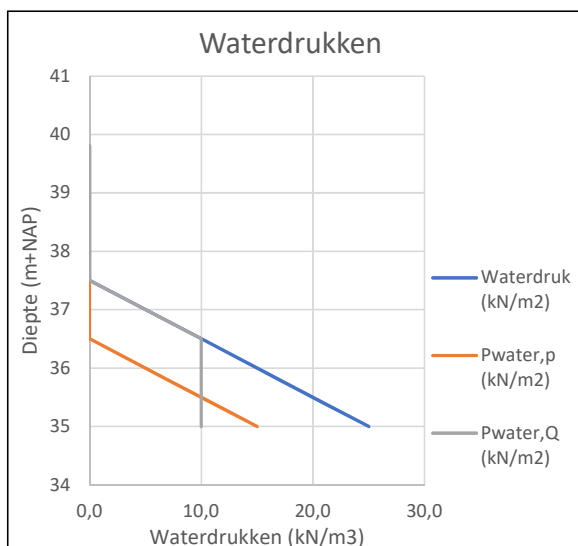
$$\text{Verticale korrelspanning} = \text{korrelspanning vorige peil} + (\text{vorige peil} - \text{peil}) * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \text{ (gedeelte onder GHG)}$$

$$\text{Horizontale korrelspanning} = \text{verticale korrelspanning} * k_0$$

$$P_{\text{korrel,H,perm}} = (\text{maaiveld} - \text{peil}) * k_0 * \gamma_{\text{dry}} \text{ (gedeelte boven GLG)}$$

$$P_{\text{korrel,H,perm}} = \text{korrelspanning vorige peil} + (\text{vorige peil} - \text{peil}) * k_0 * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \text{ (gedeelte onder GLG)}$$

$$P_{\text{korrel,H,var}} = (\text{GHG} - \text{GLG}) * k_0 * (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) - (\text{GHG} - \text{GLG}) * k_0 * \gamma_{\text{dry}}$$



Figuur 2.1: Grafieken water- en korreldrukken

2.4 Grondmassief op oor

De rustende belasting van de grond op de oren is als belasting meegenomen. De afmetingen van deze grondspie zijn afhankelijk van de wanddikte, wandhoogte en hellingshoek van de grond. Wanneer er geen oren aanwezig zijn, zal de waarde 0 kN/m² bedragen.

Het volumieke gewicht van de grond is aangehouden als:

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{sat}} &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{dry}} &= 18 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

De overige constructieve gegevens bestaan uit:

GHG	=	37,5	m + NAP	Lengte wand links	=	5000	mm
GLG	=	36,5	m + NAP	Lengte wand rechts	=	5000	mm
Maaiveld	=	39,8	m + NAP	Lengte oor links	=	0	mm
b.k. vloer	=	35,8	m + NAP	Lengte oor rechts	=	0	mm

$$\text{Maximale hoogte grondspie links} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Maximale hoogte grondspie rechts} = 4000 \text{ mm}$$

Rustende belasting linkerzijde

$$p_k = 2,3 * 18 + 1,7 * 20 = 75,4 \text{ kN/m}^2 \longrightarrow 0 \text{ kN/m}^2$$

Rustende belasting rechterzijde

$$p_k = 2,3 * 18 + 1,7 * 20 = 75,4 \text{ kN/m}^2 \longrightarrow 0 \text{ kN/m}^2$$

2.5 Krimp- en kruipbelasting

Er wordt rekening gehouden met de verandering van vervorming door stortfaseringen en dergelijke. Voor de vloeren geldt dat deze worden gestort op een werkvloer, een grondpakket of onderwaterbeton. Dit zorgt voor verandering van krimpverktoring. Voor de wanden geldt dat deze worden gestort op een reeds verharde vloer wat eveneens in een verandering van vervorming resulteert. Hierbij mag het belastingeffect worden gereduceerd onder invloed van kruip.

De verandering van de krimpverktoring door onderliggende pakket zorgt voor een wrijving. Deze wrijving resulteert in een trekkracht in de betonconstructie. In navolging van de CUR Aanbeveling 36 - art. 4.4. is de schuifspanning τ_g tussen de betonnen vloer en de ondergrond bepaald volgens:

$$\tau_g = \tau_0 \cdot \left(1 - \frac{\beta_p}{100}\right) + \mu_0 \cdot \left[\left(1 - \frac{\beta_p}{100}\right) \cdot q_{g,sg} + q_{g,d} + q_{g,rb} + q_{g,qb}\right]$$

Hierin is τ_0 de initiële wrijving (cohesie) en μ_0 de wrijvingscoëfficiënt tussen vloer en ondergrond. β_p is het percentage van de door voorspanning gemobiliseerde wrijving, t.g.v. eigen gewicht, wat permanent aanwezig blijft. In navolging van CUR Aanbeveling wordt $\beta_p = 30\%$ gekozen. De wrijvingscoëfficiënt en cohesie zijn ontleend aan CUR Aanbeveling 36 - Tabel 4.

De ondergrond van het constructieve beton bestaat uit: Werkvloer

$$\tau_0 = 25 \text{ kN/m}^2 \quad \mu_0 = 2,5 \quad \beta_p = 30 \%$$

De belastingen $p_{g,eg}$, $p_{g,rb}$ en $p_{g,qb}$ betreffen de belasting door respectievelijk het eigen gewicht, de rustende belasting (bijv. asfalt) en het quasi-permanente deel van de veranderlijke belasting ($\psi_2 \times Q_{\text{mobiel, LM1}}$)

$$\begin{aligned}p_{g,eg} &= \text{Gemiddelde vloerdikte} * \gamma_{\text{beton}} = 0,87 * 25 = 21,71 \text{ kN/m}^2 \\ p_{g,rb} &= \text{Asfaltdikte} * \gamma_{\text{asfalt}} = 0,15 * 23 = 3,45 \text{ kN/m}^2 \\ p_{g,qb} &= \psi_2 * Q_{\text{mobiel, LM1}} = 0,40 * 20 = 8,00 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Waarbij $\psi_2 = 0,4$ (conform NEN-EN 1990 tabel NB.9- A2.1).

$$\text{De schuifspanning bedraagt: } \tau_g = 84,12 \text{ kN/m}^2$$

De optredende normaaltrekkracht in de vloer, als gevolg van verhinderde krimpvervorming, als gevolg van wrijving tussen vloer en ondergrond bedraagt dan maximaal: $N_T = 0,5 * \tau_g * l_{\text{moot}}$ (in de middendoorsneden - aan de uiteinden van de vloer is deze kracht nog niet ontwikkeld).

Dwarsrichting	l_{moot}	=	12,60 m	N_T	=	530 kN/m ¹
Lengterichting	l_{moot}	=	25,00 m	N_T	=	1052 kN/m ¹

Onder invloed van kruip zal een gedeelte van het belastingeffect relaxeren. Deze relaxatie is afhankelijk van de kruipcoëfficiënt. Onderstaand wordt de kruipcoëfficiënt berekend.

De breedte en gemiddelde hoogte van de constructievloer is gegeven in de geometrie en bedragen:

$$b = 12600 \text{ mm} \quad h = 868,5 \text{ mm}$$

Vanuit deze afmetingen wordt de theoretische dikte van het element bepaald:

$$h_0 = (2 \cdot A_c) / u = (2 \cdot h \cdot b) / (2 \cdot (h + b)) = 812 \text{ mm} \quad (\text{B.6})$$

De betonsterkteklasse is gegeven bij de invoergegevens. De gemiddelde druksterkte van het beton bij een ouderdom van 28 dagen bedraagt hieruit volgend:

$$f_{ck} = 35 \quad f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \quad \text{Conform NEN-EN 1992-1-1 Tabel 3.1}$$

De kruipcoëfficiënt $\varphi(t, t_0)$ mag zijn berekend met:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) \quad (\text{B.1})$$

$$\varphi_0 \text{ is de theoretische kruipcoëfficiënt die mag worden berekend uit: } \varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \quad (\text{B.2})$$

In de norm worden een drietal coëfficiënten benoemd, waarmee de invloed van de betonsterkte in rekening is gebracht:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= [35/f_{cm}]^{0,7} = 0,866 - \\ \alpha_2 &= [35/f_{cm}]^{0,2} = 0,960 - \\ \alpha_3 &= [35/f_{cm}]^{0,5} = 0,902 - \end{aligned} \quad (\text{B.8c})$$

φ_{RH} is een factor welke rekening houdt met het effect van de relatieve vochtigheid op de theoretische kruipcoëfficiënt:

Er wordt onderscheidt gemaakt in de berekening tussen $f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2$ en $f_{cm} > 35 \text{ N/mm}^2$.

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot h_0^{1/3}} \quad \text{Voor } f_{cm} \leq 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.3a})$$

$$\varphi_{RH} = [1 + \frac{1 - RH/100}{0,1 \cdot h_0^{1/3}}] \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \quad \text{Voor } f_{cm} > 35 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{B.3b})$$

De relatieve vochtigheid van de constructievloer wordt bepaald bij de invoergegevens en bedraagt: 75 %

$$\varphi_{RH} = 1,182 -$$

De factor $\beta(f_{cm})$ is een factor welke rekening houdt met het effect van de betonsterkte op de theoretische kruipcoëfficiënt.

$$\beta(f_{cm}) = 16,8 / f_{cm}^{0,5} = 2,562 \quad (\text{B.4})$$

$\beta(t_0)$ is een factor die rekening houdt met het effect van de ouderdom van het beton op het tijdstip van belasten op de theoretische kruipcoëfficiënt.

$$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,20}) \quad \text{waarbij } t_0 \text{ is bepaald op: } 90 \text{ dagen} \quad \beta(t_0) = 0,391 \quad (\text{B.5})$$

Nu alle factoren voor de theoretische kruipcoëfficiënt bepaald zijn, kan deze factor berekend worden.

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) = 1,183 - \quad (\text{B.1})$$

Om de kruipcoëfficiënt te berekenen, dient als laatste $\beta_c(t, t_0)$ berekend te worden. Dit is een coëfficiënt waarmee de ontwikkeling van de kruip in de tijd na belasten wordt beschreven en mag zijn berekend met de volgende vergelijking:

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)} \right]^{0,3} \quad (\text{B.7})$$

t is de levensduur van de constructie in dagen: 36500 dagen

β_H is een coëfficiënt die afhangt van de relatieve vochtigheid en de theoretische dikte van het element. β_H wordt berekend met de onderstaande formules en is afhankelijk van f_{cm}

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 \leq 1500 \quad \text{Voor } f_{cm} \leq 35 \quad (B.8a)$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 * RH)^{18}] * h_0 + 250 * \alpha_3 \leq 1500 * \alpha_3 \quad \text{Voor } f_{cm} \geq 35 \quad (B.8b)$$

$$\beta_H = 1353$$

$$\beta_c(t, t_0) = 0,989$$

De kruipcoëfficiënt: = 1,171 -

Het gedeelte wat relaxeert wordt bepaald door formule: $k_\varphi = \frac{1 - e^{-\varphi(\infty, t_0)}}{\varphi(\infty, t_0)} = 0,589$

Onder invloed van kruip zal circa $(1 - k_\varphi)$ van het belastingeffect relaxeren. Rekening wordt gehouden met onderstaande normaaltrekkracht op de vloerconstructie:

$$1 - k_\varphi = 1 - 0,589 = 0,411$$

$$\text{Dwarsrichting } N_T = 0,41 * 530 \quad N_T = 217,7 \text{ kN/m}^1$$

$$\text{Lengterichting } N_T = 0,41 * 1052 \quad N_T = 431,9 \text{ kN/m}^1$$

Uitdrogingskrimp

Voor de wanden en vloeren dient ook rekening te zijn gehouden met een krimpverkortening ten gevolge van uitdrogingskrimp.

De uitdrogingskrimp is berekend conform NEN-EN 1992-1-1 art. 3.1.4 (6).

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0} \quad (3.8)$$

Waarin k_h een coëfficiënt is die afhangt van de fictieve dikte h_0 conform tabel 2.2

Tabel 2.2: Waarde k_h

Tabel 3.3. - waarden voor k_h in vergelijking (3.9)	
h_0	k_h
100	1,00
200	0,85
300	0,75
500	0,70

$$h_0 = 812 \text{ mm}$$

$$k_h = 0,70$$

De basisverkortening ten gevolge van uitdrogingskrimp $\varepsilon_{cd,0}$ wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. B.2

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 [(220 + 110 * \alpha_{ds1}) * \exp(-\alpha_{ds2} * (f_{cm}/f_{cm0}))] * 10^{-6} * \beta_{RH} \quad (B.11)$$

$$\text{Waarin: } \beta_{RH} = 1,55 [1 - (RH/RH_0)^3] \quad (B.12)$$

$$f_{cm} = 43 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_{ds1} = 4$$

$$f_{cm0} = 10 \text{ N/mm}^2 \quad \alpha_{ds2} = 0,12$$

$$RH = 75 \%$$

$$RH_0 = 100 \%$$

$$\beta_{RH} = 0,8961$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,0003$$

Als laatste dient een factor $\beta_{ds}(t, t_s)$ berekend te worden.

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04(h_0^3)^{0,5}} \quad (3.10)$$

$$t = 100 \text{ dagen}$$

$$t_s = 2 \text{ dagen}$$

$$h_0 = 812 \text{ mm}$$

$$\beta_{ds}(t, t_s) = 0,514 -$$

De uitdrogingskrimp bedraagt:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{cd}(t) &= \beta_{ds}(t, t_s) * k_h * \varepsilon_{cd,0} \\ \varepsilon_{cd}(t) &= 0,000108 \text{ m} = 108 \text{ } \mu\text{m}\end{aligned}$$

Autogene krimpverkorting

Naast de uitdrogingskrimp wordt ook de autogene krimp beschouwd. Deze krimp is berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 3.11

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ca}(t) &= \beta_{as}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty) \\ \beta_{as}(t) &= 1 - \exp(-0,2 * t^{0,5}) = 1 \\ \varepsilon_{ca}(\infty) &= 2,5 (f_{ck} - 10) * 10^{-6} = 0,0000625 \\ \varepsilon_{ca}(t) &= 0,000063 \text{ m}\end{aligned}$$

Totale krimpverkorting

De totale krimpverkorting bedraagt: 0,00017 m

Deze verkorting wordt omgerekend naar een temperatuur.

$$\Delta l = \alpha * \Delta T * l \quad \text{geeft} \quad \Delta l / l = \alpha * \Delta T$$

$$\text{Hierin is } \alpha \text{ een constante} = 1,0 * 10^{-5}$$

De temperatuur welke op de gehele constructie gezet dient te worden bedraagt: -17,0 °C

3 Variabele belasting

Onderstaand zijn alle variabele belastingen beschreven. Deze belastingen worden in het rekenmodel op de tunnelbak geplaatst. De variabele belasting bestaat onder andere uit de mobiele belasting, de verhoogde korreldruk, het opspaneffect en de thermische belasting.

3.1 Mobiele belasting op rijweg - LM1

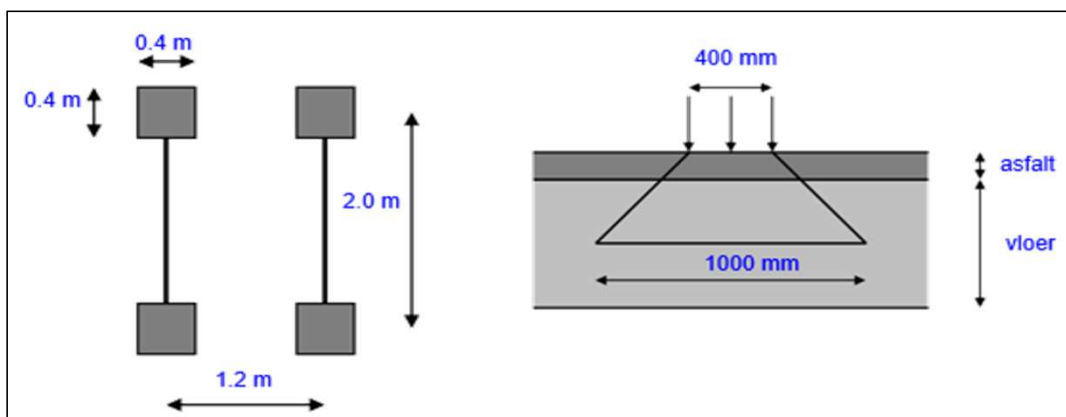
Er is een mobiele belasting gehanteerd conform NEN-EN 1991-2 - art. 4.3. Er wordt onderscheidt gemaakt in vier Belastingsmodellen (LM).

De verkeersbelasting op de rijweg bestaat uit mobiele belastingen in de vorm van geconcentreerde aslasten (TS) en gelijkmatig verdeelde belastingen (UDL)

De tandemstelsels modelleren de verkeersbelasting middels twee aslasten, lang 2.0 m, met een onderlinge hart-op-hartafstand van 1.20 m. De wielprenten zijn hierbij beschreven als vierkanten 400x400 mm. (zie onderstaande figuur). De aslasten zijn gespreid door het asfalt en de halve constructievloerdikte onder een hoek van 45° met een ondergrensbenadering van een halve constructievloerdikte van 300 mm. (conform NEN-EN 1991-2- art. 4.3.6.) De karakteristieke waarden van belastingmodel 1 staan gegeven in tabel 3.1.

De totale belasting per wiel in de dwarsrichting wordt tevens gespreid ten gevolge van het volledige tandemstelsel over een lengte van 4,0 meter.

Standaard wielprent	=	400 mm	Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (1a)
Halve constructievloerdikte	=	300 mm	
Spreiding = wielprent + 2 x halve vloerdikte	=	1000 mm	Maximaal 1000 mm
Spreiding volledige tandemstelsel	=	4000 mm	



Figuur 3.1: Assen en spreiding

De positie van de tandemstelsels dient dusdanig gekozen te worden dat het belastingseffect zo ongunstig mogelijk is. Ten aanzien van het globale constructief gedrag is het gerechtvaardigd om de tandemstelsels in het hart van de rijstroken aan te houden. (NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (1)).

De dagmaat tussen de betonnen eindwanden bedraagt: 11000 mm
Hiertussen bevinden zich de betonnen barriers, de rijwegen en de middenberm.

Tabel 3.1: NEN-EN 1991-2 - tabel 4.2.

Tabel 4.2 - Belastingsmodel 1: karakteristieke waarden		
Positie	Tandemstelsel TS	Gelijkmatig verdeelde belasting
	Aslasten Q_{ik} (kN)	q_{ik} (of q_{rk}) (kN/m ²)
Rijstrook nummer 1	300	9
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5
Rest. Oppervlak q_{rk}	0	2,5

Het aantal theoretische rijstroken in combinatie met het te verwachten vrachtverkeer, (en/of de aanwezigheid van een doelgroepstrook voor vrachtverkeer) ligt ten grondslag aan het toepassen van de correctiefactoren α_{qi} en α_{qi} ($i = 1 \dots n$)

Om deze correctiefactoren toe te kunnen passen, dient het aantal verwachte zware voertuigen per jaar en per rijstrook ($N_{obs,a,ai}$) bekend te zijn. Deze waarden zijn per verkeerscategorie weergegeven in tabel 3.2. Tevens wordt er in de tabel een mogelijkheid gegeven om een telling in te voeren. Op deze telling zal een trendfactor conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.2 (3) van toepassing zijn.

Tabel 3.2: Verkeerscategorie

Verkeerscategorie conform NEN-EN 1991-2 tabel NB.5		$N_{obs,a,ai}$ per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer
Autosnelwegen (A-wegen) en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer	1	2000000
(Auto)wegen met gemiddeld vrachtverkeer (zoals N-wegen)	2	500000
Wegen met weinig vrachtverkeer	3	125000
Wegen met weinig vrachtverkeer en uitsluitend bestemmingsverkeer	4	50000
Eigen invoer	Telling	n.v.t.

De trendfactor welke van toepassing is op een telling van het vrachtverkeer is afhankelijk van de referentieperiode. Voor een periode van 50 jaar wordt een factor 1,25 aangehouden. Voor 100 jaar wordt 1,50 aangehouden. Ook voor overige referentieperiodes wordt conservatief 1,50 aangehouden.

Trendfactor 1,5

Tabel 3.3: Correctiefactoren

Tabel NB.1 - Correctiefactoren α_{Q1} , α_{q1} en α_{qr}					
Aantal vrachtwagen per jaar per rijstrook voor zwaar verkeer N_{obs}	α_{Q1} en α_{q1}				α_{qr}
	Invloeds lengte L (m)				
	20	30	40	50	
2000000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
500000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
125000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Verkeerscategorie	2	
$N_{obs,a,ai}$	500000	aantal vrachtwagens
$N_{obs,a,ai}$ incl. trend	500000	aantal vrachtwagens
Invloeds lengte L (m)	25	m
α_{q1}	1,00	-
α_{q1}	1,00	-
α_{qr}	1,00	-

De breedte van een theoretische rijstrook wordt aangehouden op: $w_l = 3,0 \text{ m}$ NEN-EN 1991-2 figuur 4.2a

Dagmaat tunnelbak = 11,0 m

Aantal theor. rijstroken = 3,00 rijstroken Rest. opp. 0,67 m

Wanneer het aantal theoretische rijstroken groter of gelijk aan 3,0 is en $N_{obs} \geq 2000000$, dienen de correctiefactoren α_{q1} en α_{qi} conform NEN-EN 1991-2/NB - art. 4.3.2 bepaald te worden.

$\alpha_{q1} = 1,15$

$\alpha_{qi} = 1,40$

In tabel 3.4 staan de aslasten en de gelijkmatig verdeelde belastingen weergegeven, welke vermenigvuldigd zijn met de correctiefactoren.

Tabel 3.4: NEN-EN 1991-2 - tabel 4.2.

	Aslasten Q_{ik} (kN)	q_{ik} (of q_{rk}) (kN/m ²)
Rijstrook nummer 1	300	9,0
Rijstrook nummer 2	200	2,5
Rijstrook nummer 3	100	2,5
Overige rijstroken	0	2,5
Rest. Oppervlak q_{rk}	0	2,5

$$\begin{aligned}
 Q_{1k} &= 300 / 2 = 150 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 75,0 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{2k} &= 200 / 2 = 100 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 50,0 \text{ kN/m}^2 \\
 Q_{3k} &= 100 / 2 = 50 \text{ kN per wiel} & \text{gespreid over: } 1,0 \text{ m} & p_k = 25,0 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Dwarsrichting

$$\begin{aligned}
 q_{1k} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{2k} &= 2,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Lengterichting

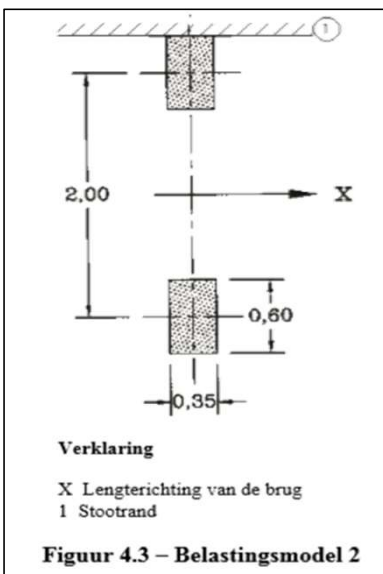
$$\begin{aligned}
 q_{1k} &= 9,0 \text{ kN/m}^2 \\
 q_{2k} &= 2,5 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3.2 Enkele aslast - LM2

Lastmodel 2 bestaat uit een enkele aslast $\beta_Q Q_{ak}$ die op iedere willekeurige positie van de rijweg behoort te zijn toegepast, en waarbij Q_{ak} gelijk is aan 400 kN.

De waarde β_Q wordt conform NEN-EN 1991-2 art. NB 4.3.3. gelijk gehouden aan α_{Q1} .

Het contactoppervlak van ieder wiel behoort als een rechthoekig valk, met zijden van 0,35 m en 0,60 m, in rekening te zijn gebracht (zie figuur 3.2).



Figuur 3.2: Lastmodel 2 conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3.

$$\begin{aligned}
 \beta_Q &= 1,00 - \\
 Q_{ak} &= 400 \text{ kN} \\
 \beta_Q Q_{ak} &= 400 \text{ kN} = 200 \text{ kN per wiel}
 \end{aligned}$$

Breedte richting

$$\begin{aligned}
 \text{Standaard wielprent} &= 600 \text{ mm} & \text{Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3 (4)} \\
 \text{Halve constructievloerdikte} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding} = \text{wielprent} + 2 * \text{halve vloerdikte} &= 1200 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding volledige stelsel} &= 2000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lengterichting

$$\begin{aligned}
 \text{Standaard wielprent} &= 350 \text{ mm} & \text{Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.3 (4)} \\
 \text{Halve constructievloerdikte} &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Spreiding} &= 950 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta_Q Q_{ak} = 200 \text{ kN} \quad \text{gespreid over:} \quad 1,2 \text{ m} \quad \text{en} \quad 0,95 \text{ m} \quad p_k = 87,72 \text{ kN/m}^2$$

3.3 Bijzondere voertuigen - LM3

Daar waar relevant, behoren belastingsmodellen voor bijzondere voertuigen te zijn vastgesteld en in rekening te zijn gebracht. Deze behoren door de opdrachtgever inzichtelijk te zijn gemaakt.

Conform NEN-EN 1991-2/NB - art. 4.3.4.1. mag dit belastingsmodel alleen zijn toegepast indien dit in de projectspecificatie voor een afzonderlijk project is voorgeschreven. Indien dit belastingsmodel is voorgeschreven, moeten het aantal bijzondere voertuigen, de maximale aslasten, het aantal aslijnen en de afstanden tussen de aslijnen zijn voorgeschreven.

Aangezien dit belastingsmodel alleen wordt toegepast na opgave opdrachtgever, wordt deze voor het verdere verloop van de berekening buiten beschouwing gelaten.

3.4 Mensenmenigte - LM4

Conform NEN-EN 1991-2 art. 4.3.5 behoort een mensenmenigte, indien relevant, te zijn weergegeven door een belastingsmodel bestaande uit een gelijkmatig verdeelde belasting gelijk aan 5 kN/m^2 . Hierin is een vergrotingsfactor voor dynamische effecten inbegrepen.

$$q_{fk} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

3.5 Rembelasting door wegverkeer

Er dient een remkracht Q_{ik} in rekening gebracht te worden, die werkt in de lengterichting en die aangrijpt ter hoogte van de bovenzijde van het wegdek.

$$Q_{ik} = 0,6 * \alpha_{Q1} (2Q_{lk}) + 0,10 * \alpha_{Q1} * q_{lk} * w_l * L$$

Waarbij: w_l = theoretische rijstrook

L = Lengte van het beschouwde gedeelte

$$Q_{ik} = 427,5 \text{ kN}$$

De remkracht heeft de volgende waarde als onder- en bovengrens

$$180 * \alpha_{Q1} \leq Q_{ik} \leq 800 = 427,5 \text{ kN}$$

Versnellingskrachten behoren met dezelfde waarden als remkrachten, maar in tegengestelde richting, in rekening gebracht te zijn. In de praktijk betekent dit dat Q_{ik} zowel positief als negatief kan zijn.

De rembelasting is hierbij gespreid over 3 meter breedte zijnde de rijstrookbreedte:

$$q_{lk} = 427,5 / 3 \quad q_{lk} = 142,5 \text{ kN/m}^1$$

De lengte van de moot bedraagt: $l = 25 \text{ m}$

De rembelasting wordt gespreid over deze gehele lengte, aangezien de tunnel is gefundeerd op staal.

$$142,5 / 25 = 5,70 \text{ kN/m}^2$$

Deze rembelasting heeft nauwelijks invloed op het globale constructieve gedrag en wordt in het vlak van de vloer afgedragen. Om deze reden is deze belasting niet meegenomen in de belastingcombinaties.

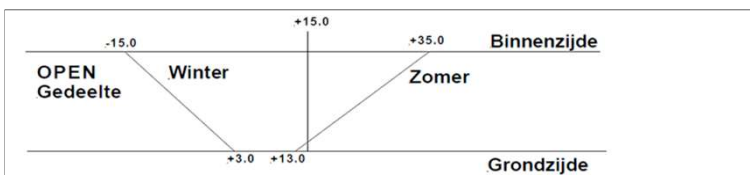
3.6 Thermische belasting

Als gevolg van de 4 seizoenen krijgen open tunnelbakken te maken met aanzienlijke temperatuurverschillen. Deze verschillen, met als gevolg het krimpen en uitzetten van de doorsnede, zorgen voor interne krachten in het beton. Om deze krachten inzichtelijk te krijgen, is het nodig om een overzicht te maken van de thermische belasting op de tunnelbak.

Onderscheid zal gemaakt moeten worden tussen jaarlijkse temperatuurswisselingen en de dagelijkse wisselingen.

Thermische belasting - jaarlijkse wisselingen

Voor open moten moet de volgende temperatuurverdeling aangehouden worden. De referentietemperatuur is 15 °C.



Figuur 5-2: Jaarlijkse temperatuurswisselingen voor open gedeelten

De thermische belastingen zijn bepaald in navolging van EN1991-1-5, met de aanvullingen gegeven in ROK 1.4.

Figuur 3.3: Figuur 5-2 ROK 1.4

Open moten	Referentie		Zomer		Winter	
	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Vloer + wanden	+15	+15	+35	+13	-15	+3

Open moten	Zomer		Winter	
	Binnenzijde	Grondzijde	Binnenzijde	Grondzijde
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Vloer + wanden	35 - 15 = 20	13 - 15 = -2	-15 - 15 = -30	3 - 15 = -12

Zomer	
Binnenzijde	20
Grondzijde	-2
Winter	
Binnenzijde	-30
Grondzijde	-12

Voor de thermische uitzettingscoëfficiënt voor het beton is aangehouden

$\alpha = 1\text{E-}05$ - voor de vloeren en

$\alpha = 1\text{E-}05$ - voor de wanden.

De belasting is aangebracht als een lineair verlopende thermische belasting op zowel de wanden als de vloer.

Thermische belasting - dagelijkse wisselingen

Ten gevolge van de dagelijkse temperatuurswisselingen op de binnenzijde van de tunnelbak, moeten deze wisselingen worden gesuperponeerd op de jaarlijkse temperatuurswisselingen.

De dagelijkse temperatuurswisselingen zijn aangehouden in overeenstemming met ROK 1.4, waardoor geldt voor een situatie met 100 mm asfalt:

Maximumtemperatuur: $\Delta T = 10\text{ °C}$

Minimumtemperatuur: $\Delta T = -5\text{ °C}$

Het temperatuurverloop wordt gesplitst in de volgende drie onderdelen:

- Een over de hele hoogte gelijkmatig verdeelde temperatuur;
- Een over de hele hoogte gelijkmatig verlopende temperatuur
- Een resulterende temperatuurverdeling (eigentemperatuur).

De eigentemperatuur wordt verwaarloosd aangezien deze normaliter het uitwendige gedrag van de constructiedelen niet beïnvloed. Het temperatuurverloop is voor een elementdikte 800 mm onderstaand gegeven, met of zonder asfalt van 100 mm.

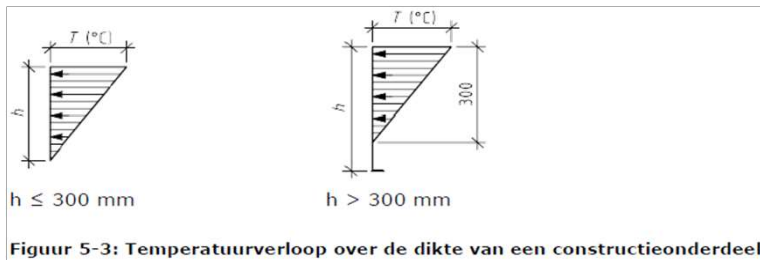
Tabel 3.5: Tabel 5-2 ROK 1.4

Tabel 5-2: Dagelijkse temperatuurswisselingen voor binnenzijde van open gedeelten en de bovenzijde van tunneldaken

Grond- of asfaltdekking (m)	Min. en max. temperaturen	
	Min. (°C)	Max. (°C)
0	-8	+20
0,08	-6	+12
0,10	-5	+10
0,20	-2	+5
0,30 of meer	0	0

De in tabel 3.5 gegeven temperaturen gelden voor constructieonderdelen tot een dikte van 300 mm (onder het oppervlak) als lineair temperatuurverschil over de totale dikte van het constructiedeel, zie figuur 3.4 links. Voor de rest van de dikte treedt geen wijziging van de temperatuur op, zie figuur 3.4 rechts. De minimale constructiedikte bedraagt 300 mm.

Bij constructiedelen met een grotere dikte dan 300 mm verloopt de temperatuur lineair tussen het oppervlak en een punt 300 mm onder het oppervlak, voor de rest van de dikte treedt geen wijziging van de temperatuur op, zie figuur 3.4 rechts.



Figuur 3.4: Figuur 5-3 ROK 1.4

In een overgangsgebied tussen een gesloten en open gedeelte moet over een lengte van 25 m tussen de waarden voor het gesloten en open gedeelte lineair geïnterpoleerd worden.

De genoemde maximale en minimale temperaturen gelden voor een constructie in de gebruiksfase. Als de constructie tijdens de bouwphase aan andere omstandigheden wordt blootgesteld, bijvoorbeeld als de constructie niet aangevuld is met grond, moet dit in rekening worden gebracht.

Het temperatuurverloop van de constructie is bepaald bij een vloer met daarop 100 mm asfalt. Deze dikte is in de werkelijkheid 150 mm, maar omdat de berekening van de temperaturen vanaf 100 mm op honderdtallen naar beneden afrond, is de temperatuur volgens tabel 3.5, gekoppeld aan een asfaltdikte van 100 mm. Ook is het verloop bepaald bij een vloer tijdens de bouwphase, dus zonder asfalt, en de wanden waar in de eerste plaats geen asfalt aanwezig is.

Asfaltdikte:	150 [mm]	Uit tabel 3.5 volgt dan:	$T_{\min}$:	-5 [graden Celsius]
			$T_{\max}$:	10 [graden Celsius]
Asfaltdikte:	0 [mm]	Uit tabel 3.5 volgt dan:	$T_{\min}$:	-8 [graden Celsius]
			$T_{\max}$:	20 [graden Celsius]
Dikte vloer:	800 [mm]	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen.		

Om inzicht te krijgen in het temperatuurverloop in de constructie, is het nodig om de 4 grafieken te verklaren. Grafiek T is de basisgrafiek die in feite de opsomming van grafiek T_1 t/m T_3 is. Grafiek T_1 (T_n) weergeeft de gelijkmatig verdeeld temperatuur. Grafiek T_2 (T_m) weergeeft de temperatuurkromming en grafiek T_3 (T_{et}) weergeeft de eigentemperatuur.

Voorbeeld:

$$T = T_1 + T_2 + T_3$$

$$10,00 = 1,88 + 4,22 + 3,91$$

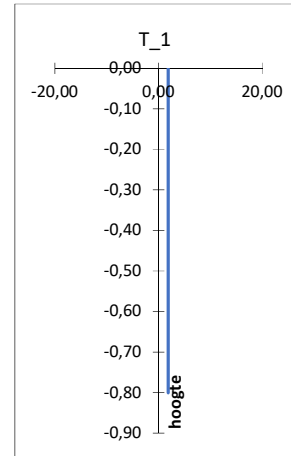
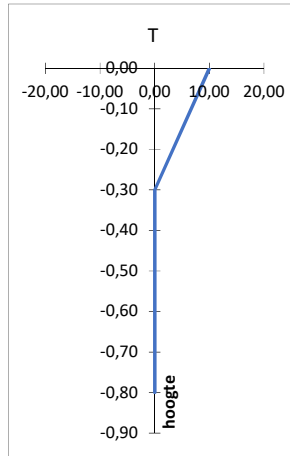
Grafiek T is berekend conform ROK 1.4 art. 5.5.

Grafieken T_1 t/m T_3 zijn berekend conform cursus TU Delft Temperatuur- en krimpgradienten.

Temperatuurbelasting zomer

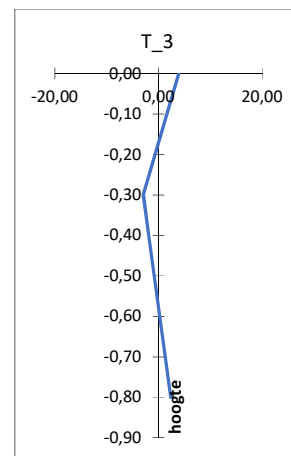
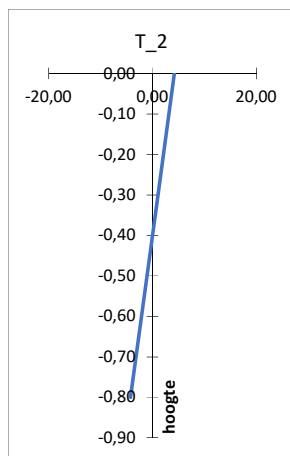
Asfaltdikte: 150 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: 10 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	10,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	1,88
-0,3	1,88
-0,4	1,88
-0,8	1,88

Hoogte	T_2
0,0	4,22
-0,3	1,05
-0,4	0,00
-0,8	-4,22



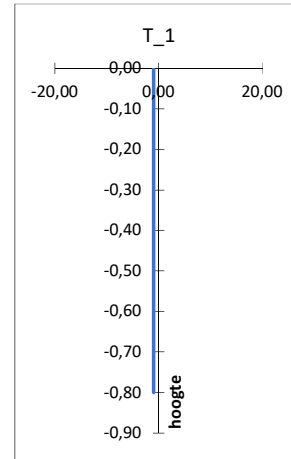
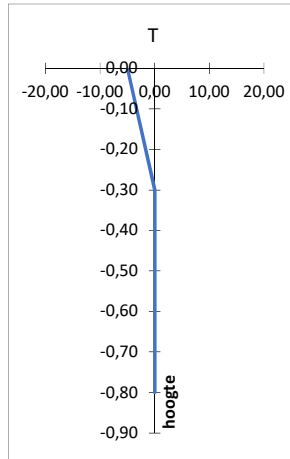
Hoogte	T_3
0,0	3,91
-0,3	-2,93
-0,4	-1,88
-0,8	2,34

Temperatuur bovenzijde: $T = 1,88 + 4,22 = 6,09$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = 1,88 + -4,219 = -2,34$ [graden Celsius]

Temperatuurbelasting winter

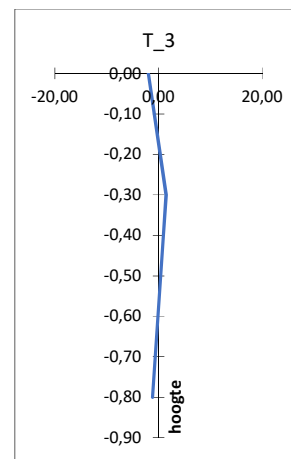
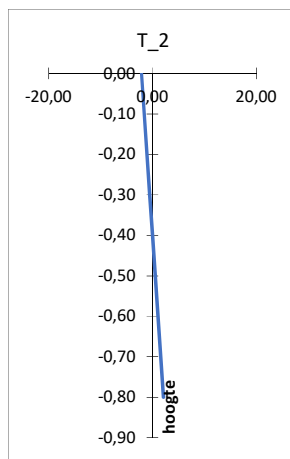
Asfaltdikte: 150 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: -5 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	-5,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	-0,94
-0,3	-0,94
-0,4	-0,94
-0,8	-0,94

Hoogte	T_2
0,0	-2,11
-0,3	-0,53
-0,4	0,00
-0,8	2,11



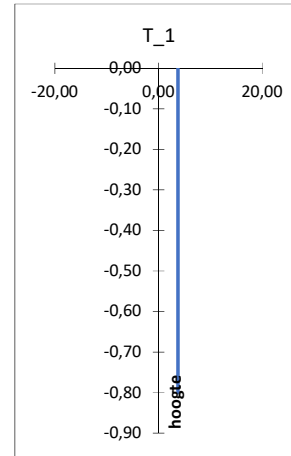
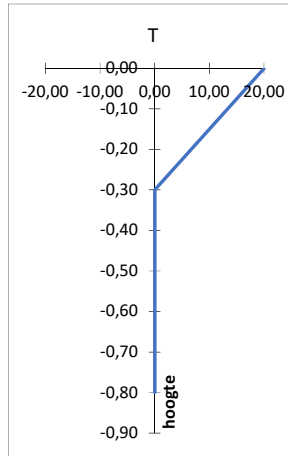
Hoogte	T_3
0,0	-1,95
-0,3	1,46
-0,4	0,94
-0,8	-1,17

Temperatuur bovenzijde: $T = -0,94 + -2,11 = -3,05$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = -0,94 + 2,11 = 1,17$ [graden Celsius]

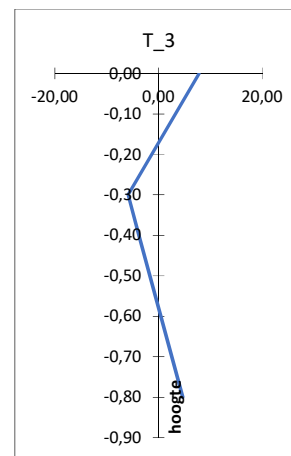
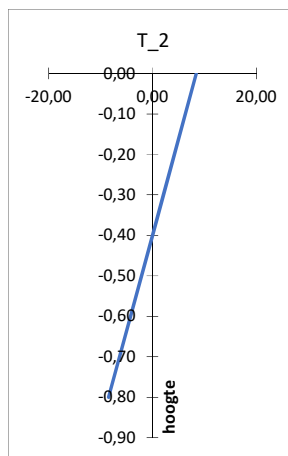
Temperatuurbelasting zomer

Asfaltdikte: 0 [mm]
Dikte vloer: 800 [mm]
Temperatuur: 20 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	20,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	3,75
-0,3	3,75
-0,4	3,75
-0,8	3,75



Hoogte	T_2
0,0	8,44
-0,3	2,11
-0,4	0,00
-0,8	-8,44

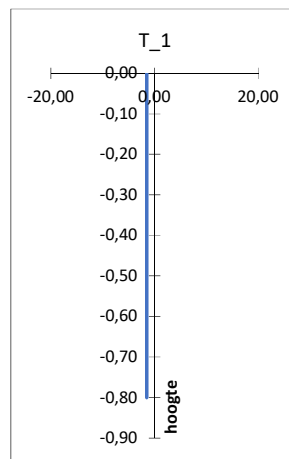
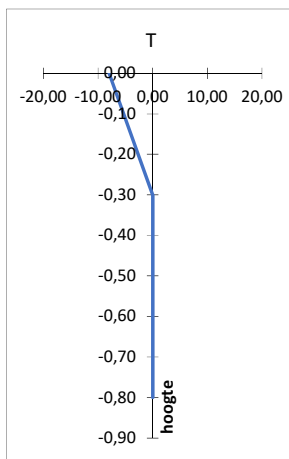
Hoogte	T_3
0,0	7,81
-0,3	-5,86
-0,4	-3,75
-0,8	4,69

Temperatuur bovenzijde: $T = 3,75 + 8,44 = 12,19$ [graden Celsius]
Temperatuur onderzijde: $T = 3,75 + -8,438 = -4,69$ [graden Celsius]

Temperatuurbelasting winter

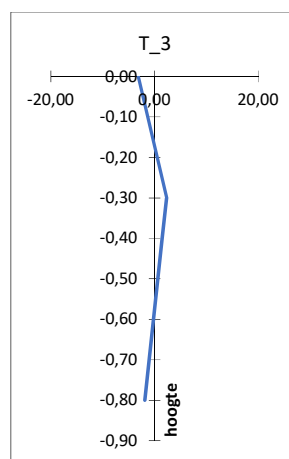
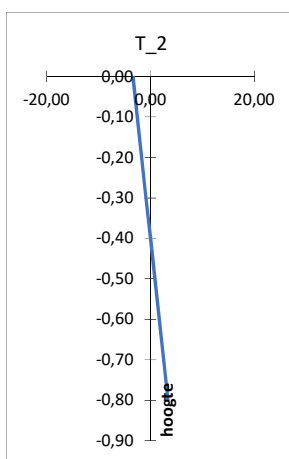
Asfaltdikte: 0 [mm]
 Dikte vloer: 800 [mm]
 Temperatuur: -8 [graden Celsius]

Hoogte	T
0,0	-8,00
-0,3	0,00
-0,4	0,00
-0,8	0,00



Hoogte	T_1
0,0	-1,50
-0,3	-1,50
-0,4	-1,50
-0,8	-1,50

Hoogte	T_2
0,0	-3,38
-0,3	-0,84
-0,4	0,00
-0,8	3,38



Hoogte	T_3
0,0	-3,13
-0,3	2,34
-0,4	1,50
-0,8	-1,88

Temperatuur bovenzijde: $T = -1,50 + -3,38 = -4,88$ [graden Celsius]
 Temperatuur onderzijde: $T = -1,50 + 3,38 = 1,88$ [graden Celsius]

3.7 Bovenbelasting op maaiveldniveau

Conform NEN-EN 9997-1 art. 2.4.2 wordt de volgende bewering aangehouden voor de bovenbelasting:

De stabiliteit, sterkte en vervormingen van constructies, zoals kelderwanden, kademuren en damwandconstructies, die naast een berijdbare strook terrein liggen, moeten ook zijn getoetst aan de eisen in de uiterste grenstoestand en in de bruikbaarheidsgrenstoestand met gronddrukken die voortkomen uit de volgende karakteristieke waarden van de terreinbelasting (p), aangrijpend over de volle lengte van de wand en over een zone van ten minste 20 m breed:

$$p_k = 20 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Met een neutrale gronddrukfactor $k_0 = 0,5$ volgt:

$$p_k = k_0 * p_k = 10 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Deze belasting is van boven naar beneden verlopend tot 0 kN/m² aangehouden in de aansluiting met de vloer.

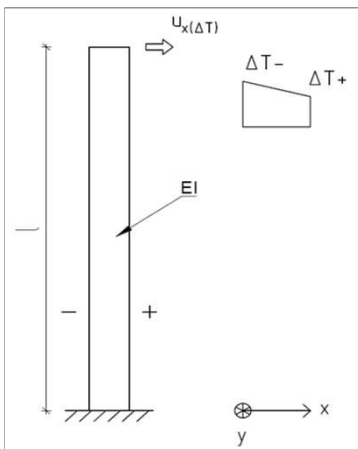
3.8 Opspaneffect

In de tijd kan door fluctuerende temperaturen en eventuele waterstanden de grondruk oplopen tot hogere waarden dan verondersteld wordt op basis van neutrale grondruk. Voor de wanden van de open moten wordt om deze reden rekening gehouden met het opspaneffect.

Verondersteld is dat het opspannen zich enkel voordoet ten gevolge van jaarlijkse thermische belasting, en daarmee enkel de situatie "opwarmen" omdat deze belasting zorgt voor beweging van de wand tegen de grond in (passieve grondruk).

Horizontale uitwijking t.g.v. de thermische belasting

Doordat de wand thermisch belast wordt zal deze inkrimpen in de winter en uitzetten in de zomer. Daar beide zijden van de wand niet gelijkmatig thermisch belast worden zal dit proces een kromming aan de wand geven. De kromming zorgt voor een een horizontale uitwijking, De zogenaamde kopverplaatsing.



Afleiding $u_x(\Delta T)$:

$$\Delta T = \Delta T_- - \Delta T_+$$

$$\varphi_y = \frac{M_T * l}{EI}$$

$$u_x = \frac{M_T * l^2}{2EI}$$

Constante kromming: $K = \frac{M_T}{EI} \rightarrow \frac{\varepsilon_{T-} - \varepsilon_{T+}}{h}$

$$\varepsilon_{T-} - \varepsilon_{T+} = \alpha \Delta T$$

$$u_x = \frac{M_T * l^2}{2EI} = \frac{K * EI * l^2}{2EI} = \frac{K * l^2}{2} = \frac{\alpha \Delta T * l^2}{2h}$$

Figuur 3.4: Horizontale uitwijking

α	=	horizontale uitwijking van de wand;
u_x	=	horizontale uitwijking van de wand;
v	=	kopverplaatsing van de wand;
u_x	=	v (invoerwaarde passieve gemobiliseerde grondruk).

Invoerwaardes:

T_-	=	-5	[°C]
T_+	=	10	[°C]
l	=	5	[m]
h	=	0,5	[m]
α	=	0,00001	[-]
u_x	=	-3,75	mm

Na bestudering van het SCIA Engineer model, is de conclusie getrokken dat de berekening u_x voor de casus niet juist is. In deze berekening is gesteld dat de rotatieveer, in de aansluiting tussen de wand en de vloer, oneindig stijf is. Dit in de realiteit niet het geval, waardoor er een afwijking zit tussen de berekening en het model. De uitwijking volgens de berekening is -3,75 mm, terwijl het model -20,6 mm als uitkomst geeft. Dit is een factor 5,5 verschil waarmee de berekende uitwijking mee vermenigvuldigd zal worden.

$$u_{x, \text{modellering, SCIA}} = -20,63 \text{ mm}$$

Passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt

De formule voor de passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt is als volgt:

$$K_{ph} = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{0.5})^2$$

K_{ph}	=	passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt	[-]
ϕ	=	hoek van inwendige wrijving	[°]
δ	=	wandwrijvingshoek	[°]

De grondsoort in het beschouwde gebied.

Grondsoort:	Zand
γ_{dry}	18 kN/m ³
γ_{sat}	20 kN/m ³
γ_{water}	10 kN/m ³
ϕ	30 °
δ	-20 °

$$K_{ph} = \cos^2 \phi / (1 - (\sin(\phi - \delta) \sin \phi / \cos \delta)^{0.5})^2 = 5,74 \quad [-]$$

Passieve gemobiliseerde gronddruk

Als gevolg van fluctuerende temperaturen en eventuele waterstanden moet bij vrij uitkragende wanden het oplopen van gronddruk tot hogere waarden in de loop der tijd als volgt in rekening gebracht worden:

Voor de passieve gemobiliseerde gronddruk geldt:

$$K_{ph, \text{mob}} = K_0 + (K_{ph} - K_0) * (v/z) / (a + v/z)$$

Waarin:

$K_{ph, \text{mob}}$	=	horizontale gronddrukcoëfficiënt als gevolg van het opspaneffect;	[-]
K_0	=	neutrale gronddrukcoëfficiënt;	[-]
K_{ph}	=	passieve horizontale gronddrukcoëfficiënt	[-]
v	=	kopverplaatsing van de wand	[m]
z	=	diepte gemeten vanaf de bovenzijde van de wand;	[m]
a	=	parameter die afhankelijk is van de pakking van het zand.	[-]

Let op: In de ROK 1.4 is de parameter "v" een functie van de diepte. Dit is niet in overeenstemming met een rapportage over de Duitse en Engelse methode. De Duitse methode wordt aangehouden waaruit voortkomt dat "v" feitelijk de kopverplaatsing is.

De parameter a varieert tussen 0,01 voor vastgepakt zand en 0,1 voor los gepakt zand. Voor in lagen verdicht zand kan a = 0,03 worden aangehouden. Als de gronddruk ongunstig werkt, moet voor de belastingsfactor voor gevolgklasse 2 een waarde van 1,5 worden aangehouden; voor gevolgklasse 3 is dit 1,65. Voor de partiële gronddrukcoëfficiënt moet, als de druk gunstig werkt, een waarde van 1,0 worden aangehouden. Voor de grootte van de momentaanfactoren voor de combinatie van de belastingen als gevolg van het opspaneffect en alle variabele belastingen geldt $\psi = 1$.

De neutrale gronddrukfactor k_0 wordt bepaald aan de hand van de hoek van inwendige wrijving. $k_0 = 1 - \sin(\phi)$.

$$k_0 = 1 - \sin(\phi) = 0,5 \quad [-]$$

$$a = 0,03 \quad [-]$$

Opspaneffect

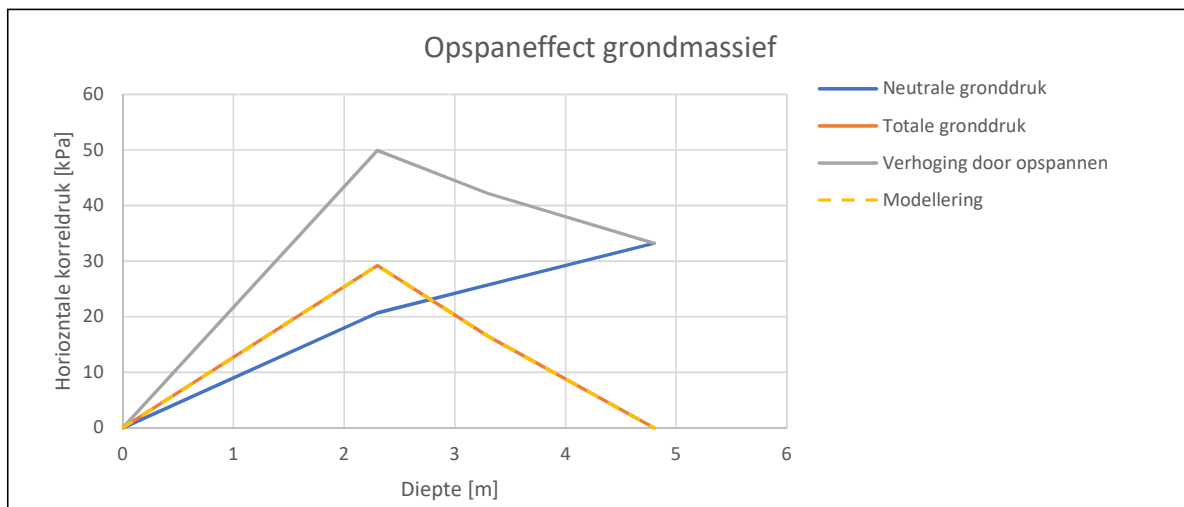
Het opspaneffect is het verschil tussen de neutrale gronddruk en de verhoging door het opspaneffect.

Tabel 3.6: opspaneffect

	Peil (m + NAP)	$P_{korrel,V,tot}$ (kN/m ²)	$P_{korrel,H,tot}$ (kN/m ²)	Diepte z (m)	Kopverplaatsing v (m)	$K_{ph,mob}$ (-)	Verhoging (kN/m ²)	Totale gronddruk (kN/m ²)
Maaiveld	39,8	0	0	0	0,0206	0,00	0,00	0,00
GHG	37,5	41,4	20,7	2,3	0,0107	1,21	49,91	29,21
GLG	36,5	51,4	25,7	3,3	0,0064	0,82	42,15	16,45
o.k. vloer	35	66,4	33,2	4,8	0,0000	0,50	33,20	0,00

In de grafiek is dit effect de totale gronddruk genoemd.

De berekening voor het opspaneffect is gemaakt conform ROK 1.4 art. 9.5.4.



Figuur 3.5: Opspaneffect

3.9 Mechanische verdichten

Bij de bepaling van de gronddruk op de achterzijde van de wand moet, conform NEN 9997 art. 9.5.5, rekening zijn gehouden met bijkomende drukkzen, veroorzaakt door het eventueel aanbrengen van aanvullingen en de daarbij gebruikte verdichtingsmethoden.

De extra gronddrukken achter de grondkerende constructie ten gevolge van verdichting van de aanvulgrond, hoeven niet te zijn opgeteld bij de gronddrukken die het gevolg zijn van later werkende bovenbelasting door verkeer en opslag.

Conform CUR Aanbeveling 166 art. 3.2.10 bedraagt de belasting ten gevolgen van mechanisch verdichten:

$$\Delta p_{kd} = 0,4 \cdot b_{tril} \cdot (k_p - k_0) \cdot \gamma_{dry}$$

Waarbij wordt uitgegaan van een trilplaat met breedte: $b_{tril} = 0,8 \text{ m}$

Vanuit de geotechnische gegevens zijn de waardes voor k_p en k_0 gegeven.

$$k_p = 5,74 \quad k_0 = 0,5$$

$$\Delta p_{kd} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot (5,74 - 0,5) \cdot 18 = 30,17 \text{ kN/m}^2$$

3.10 Sneeuwbelasting

De sneeuwbelasting op de open tunnelbak dient bepaald te zijn conform NEN-EN 1991-1-3. In Nederland wordt er te allen tijde gerekend met sneeuwbelasting voor blijvend/tijdelijke ontwerpsituaties (EN1991-1-3/NB art. 5.2(3)).

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

Waarbij:

μ_i	=	0,8	Conform EN1991-1-3 - Tabel 5.2
C_e	=	1,0	Conform EN1991-1-3/NB - art. 5.2(7)
C_t	=	1,0	Conform EN1991-1-3/NB - art. 5.2(8)
s_k	=	0,7	Conform EN1991-1-3/NB - art. 4.1

$$s = 0,56 \text{ kN/m}^2 \text{ Over de gehele constructievloerbreedte}$$

De sneeuwbelasting wordt niet meegenomen in de belastingcombinaties, aangezien NEN-EN 1990 - Tabel NB.16 voorschrijft dat sneeuwbelasting niet gecombineerd wordt met andere variabele belastingen (gelijktijdigheidregel). De sneeuwbelasting is zodanig klein dat deze niet maatgevend is.

4 Grendstoestanden en belastingcombinaties

De bruikbaarheidsgrenstoestand en de uiterste grenstoestand van een constructie dienen te worden getoetst. NEN-EN 1990-1-1 onderscheidt de volgende vier uiterste grenstoestanden:

- EQU: Beschouwing van het statisch evenwicht van de constructie;
- STR: Heeft betrekking op de sterkte van de constructie. Er wordt getoetst op intern bezwijken en buitensporige vervormingen van de constructie of een constructieonderdeel;
- GEO: Staat voor het bezwijken van de constructie ten gevolge van buitensporige vervorming van de ondergrond;
- FAT: Een constructie of constructieonderdeel toetsen op vermoeiing.

4.1 Uiterste Grenstoestanden

Conform NEN-EN 1990-1-1 art. 6.4.3.2. en Tabel NB.12 - A2.4(B) is voor de uiterste grenstoestand gebruik gemaakt van de uitdrukkingen 6.10 en 6.10 b.

Vergelijking 6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Vergelijking 6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

In vergelijking 6.10a worden de blijvende belastingen maximaal in rekening gebracht, terwijl in vergelijking 6.10b juist de overheersende veranderlijke belasting maximaal op de constructie wordt gezet. De ongunstigste van beide uitdrukkingen moet worden gebruikt. Bij een buitengewone ontwerpsituatie (ACC) moet de belangrijkste veranderlijke belasting zijn genomen met zijn frequente waarde en de overige veranderlijke belasting met de quasi-blijvende waarde.

In navolging van NEN-EN 1992-1-1 art. 2.3.1.2 volgt voor betonconstructies dat temperatuurbelasting alleen in de bruikbaarheidsgrenstoestand hoeft te worden meegenomen.

De buitengewone belastingcombinatie wordt bepaald conform NEN-EN 1990 art. 6.4.3.3. (2) formule 6.11b

Vergelijking 6.11b

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

De buitengewone belastingcombinatie wordt gebruikt bij buitengewone ontwerpsituaties zoals schok, brand of noodherstel na een buitengewoon voorval of buitengewone toestand.

De laatste uiterste grenstoestand is vermoeiing. Van belang is de maximale spanningswisseling die op kan treden. Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.8.3. volgt het minimale spanningsniveau uit de belastingcombinatie (gelijk aan de frequente combinatie (vergelijking 6.15b)), waarbij de veranderlijke belastingen een niet wisselend karakter hebben.

De vloer van de onderdoorgang is direct bereden en op staal gefundeerd (bedding van de ondergrond betrekkelijk stijf). Om deze reden zullen spanningswisselingen in het beton en wapening ten gevolge van mobiele belasting beperkt zijn en is een controle op vermoeiing niet uitgevoerd.

4.2 Bruikbaarheidsgrenstoestand

Bij het toetsen van de bruikbaarheidsgrenstoestanden dienen de uitdrukkingen 6.14a t/m 6.16b te worden gebruikt. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende combinaties, de karakteristieke, frequente en quasi blijvende belastingcombinatie. Welke belastingcombinatie gebruikt wordt hangt af van hetgeen waarop getoetst wordt. De karakteristieke combinatie wordt gebruikt voor een eenmalige doorbuigingscontrole. De quasi-blijvende combinatie wordt gebruikt voor de permanente doorbuiging en de frequente combinatie wordt gebruikt bij het toetsen op scheurvorming

Karakteristieke combinatie (vergelijking 6.14b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Frequente belastingcombinatie (vergelijking 6.15b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Quasi-blijvende combinatie (vergelijking 6.16b)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

4.3 Belastingsfactoren

De belastingsfactoren zijn aangehouden conform NEN-EN 1990-1-1 - NB.13-A2.4(B) Deze belastingsfactoren zijn geldig voor wegverkeersbruggen. In hoofdstuk invoergegevens dient een gevolgklasse (CC1, CC2 of CC3) gekozen te worden. Aan de hand van deze gevolgklasse worden de belastingsfactoren bepaald (figuur 4.1).

Tabel NB.13 – A2.4(B) — Belastingsfactoren voor wegverkeersbruggen en bruggen voor langzaam verkeer en voetgangers- en fietsbruggen STR/GEO) (groep B)

Gevolgklasse	β	G			Verkeer (met $\psi = 1$)	Overig veranderlijk (met $\psi = 1$)
		$\gamma_{G,j,sup}$		$\gamma_{G,j,inf}$		
		6.10a	6.10b (incl. ξ)	6.10a en 6.10b		
CC1	3,3	1,20	1,10	0,9	1,20	1,35
CC2	3,8	1,30	1,20	0,9	1,35	1,5
CC3	4,3	1,40	1,25	0,9	1,5	1,65

$\gamma = 0$ voor gunstig werkende veranderlijke belastingen

Voor γ zie de aanbevelingen in de desbetreffende materiaalgebonden Eurocodes 1992 t.m. 1999.

Voor de berekening van het effect van ongelijkmatige zettingen geldt dat $\gamma_{G,set} = 1,20$ in het geval van een lineaire berekening en $\gamma_{G,set} = 1,35$ in het geval van een niet lineaire berekening. Gunstig werkende zettingsverschillen worden niet in rekening gebracht. De grootte van de zettingen is bepaald op basis van de karakteristieke belastingcombinatie en de karakteristieke waarden voor de grondeigenschappen.

OPMERKING De factor K_{FI} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.

Figuur 4.1: Belastingsfactoren voor wegverkeersbruggen

4.4 Combinatiefactoren

Voor de aan te houden ψ -factoren wordt gebruik gemaakt van tabel NB.9 - A.2.1 van de NEN-EN 1990/NB ψ -factoren voor bruggen voor weg- en langzaam verkeer. (tabel 4.1)

De ψ -factoren combineren de variabele belasting met de verschillende belastingcombinaties.

Hierbij geldt:

$\psi_0 \times Q_i$: Combinatiewaarde van de karakteristieke belasting Q_i .

$\psi_1 \times Q_i$: Frequente waarde van de karakteristieke belasting Q_i .

$\psi_2 \times Q_i$: Quasi-permanente waarde van de karakteristieke belasting Q_i .

Tabel 4.1: Combinatiefactoren Tabel NB.9 - A2.1

Combinatiefactoren	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Verkeersbelasting (LM1)	0,8	0,8	0,4
Verkeersbelasting (LM2)	0,0	0,8	0,0
Verkeersbelasting (LM4)	0,0	0,8	0,0
Bovenbelasting eind	0,8	0,8	0,4
Mechanisch verdichten	0,8	0,8	0,4
Opspaneffect	0,8	0,8	0,4
Thermische belasting	0,3	0,8	0,3
Sneeuwbelasting	0,0	0,0	0,0

In de uiterste grenstoestand mag voor ψ_2 voor thermische belasting de waarde 0 zijn aangehouden.

4.5 Resumerend overzicht (belastingcombinatiesleutel)

In tabel 4.2 zijn de waarde van de belastingfactoren en combinatiefactoren gegeven voor de, in hoofdstuk invoergegevens gekozen, gevolgklasse.

De belastingsfactoren, welke gegeven zijn in hoofdstuk invoergegevens zijn onderstaand opgesomd.

Gevolgklasse	=	CC2
6.10a	=	1,30
6.10b	=	1,20
6.10 gunstig	=	0,90
Var. Verkeer	=	1,35
Var. Overig	=	1,50

In het overzicht zijn enkel de beginwaardes gegeven van de belastingsfactoren en de combinatiefactoren. Deze zijn nog niet in combinaties verwerkt.

Tabel 4.2: Resumerend overzicht

Combinatiesleutel		Belastinggevallen										
CC2		Eigen gewicht	Rustende belasting	Korrel- en waterdrukken	Krimp en kruip	Verkeersbelasting (LM1)	Verkeersbelasting (LM2)	Bovenbelasting eind	Thermische belasting	Mechanisch verdichten	Opspanneffect	Bijzondere belasting
		PB	PB	PB	PB	VB	VB	VB	VB	VB	VB	AC
	ULS - VLG 6.10A	1,30	1,30	1,30	0,00	1,35	1,35	1,50	0,00	1,50	1,50	1,00
	ULS - VLG 6.10B	1,20	1,20	1,20	0,00	1,35	1,35	1,50	0,00	1,50	1,50	1,00
	ULS - VLG 6.10A en 6.10B - gunstig	0,90	0,90	0,90	0,00	-	-	-	-	-	-	-
	SLS - VLG 6.14B / 6.15B / 6.16B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ψ_0		-	-	-	-	0,80	0,00	0,80	0,30	0,80	0,80	-
ψ_1		-	-	-	-	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-
ψ_2		-	-	-	-	0,40	0,00	0,40	0,30	0,40	0,40	-

5 Wapening vloerconstructie

De wapening wordt berekend in de gehele betonconstructie. De relevante momenten, normaalkracht en dwarskracht worden berekend met behulp van SCIA Engineer. De doorsnedecontroles worden onderstaand uitgevoerd. De uit te voeren controles bestaan uit:

Constructievloer:

- Wapening in vloer - dwarsrichting - onderzijde (1e laag);
- Wapening in vloer - dwarsrichting - bovenzijde (1e laag);
- Wapening ter plaatse van aansluiting wand (1e laag);
- Wapening in vloer - lengterichting - onderzijde (2e laag);
- Wapening in vloer - lengterichting - bovenzijde (2e laag);
- Dwarskrachtwapening.

5.1 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)

De wapening wordt berekend ter plaatse van:

Onderzijde

van de constructievloer in

dwarsrichting

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$M_{ed,ULS} = 516 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,ULS} = -197 \text{ kN/m}^1$$

$$M_{ed,SLS} = 262 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = -241 \text{ kN/m}^1$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 937 \text{ mm}$$

$$c_{toe} = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 45 \text{ mm}$$

$$d = 869 \text{ mm}$$

Voor de volledige berekening dient de wapening aangenomen te worden.

$$\phi_{km_1} = 16 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 150 \text{ mm}$$

$$Laag = 1$$

$$A_s = 1340 \text{ mm}^2$$

Berekenen door middel van ctrl + d (eventueel een tweede keer)

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

$$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 23,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75 -$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,39 -$$

$$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = 0,17 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{max} = 1,80 \text{ ‰}$$

Betonstaal = B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2E+05 \text{ N/mm}^2$$

Berekenen normaalkracht

De normaalkracht welke vanuit SCIA Engineer wordt weergegeven, wordt veiligheidshalve gerekend met 25% verlies. In de ULS-grenstoestand wordt deze waarde met factor 0,9 (gunstig) vermenigvuldigd. In de SLS-toestand wordt de belasting vanuit het krimp/kruip belastinggeval meegenomen.

$$N_{ed,ULS} = -132,9 \text{ kN/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = 37 \text{ kN/m}^1$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \eta / (\eta - 1)$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b h^2 = 146328167 \text{ mm}^3$$

$$\eta = (e * A_c) / W = 24,87$$

$$e = M_{Ed} / N_{Ed} = 3883 \text{ mm}$$

$$A_c = b * h = 937000 \text{ mm}^2$$

$$M_{E,min} = 489 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$489 \text{ kNm/m}^1$$

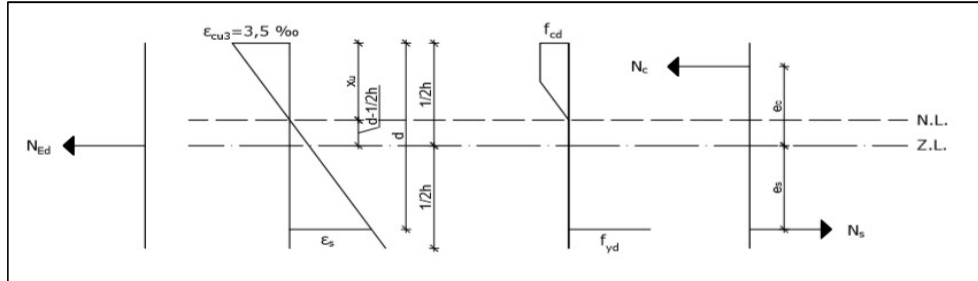
Controle bezwijkmoment

Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 583080 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd: $N_c - N_s - N_{ed} = 0$



Figuur 1: Horizontale evenwicht bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (N_{ed} + (A_s * f_{yd})) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 40,97 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s + N_{ed} = 0 \longrightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) + N_{ed} - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$715994 + -132914 - 583080 = 0 \quad \text{Voldoet, } x_u \text{ is juist}$$

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur x) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,071 \% \quad \text{Vloeigrens betonstaal: } 0,002175 \% \quad \text{Wapening vloeit}$$

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur 1).

$$y_s = -1/2 * h + d = 400,5 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 233523378 \text{ Nmm} = 233,5 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 452,5 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 324002064 \text{ Nmm} = 324,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 516 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 558 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,93 \quad \text{Voldoet}$$

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd}) \\ f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}) \end{aligned}$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,047 \leq 0,535 \quad \text{Voldoet}$$

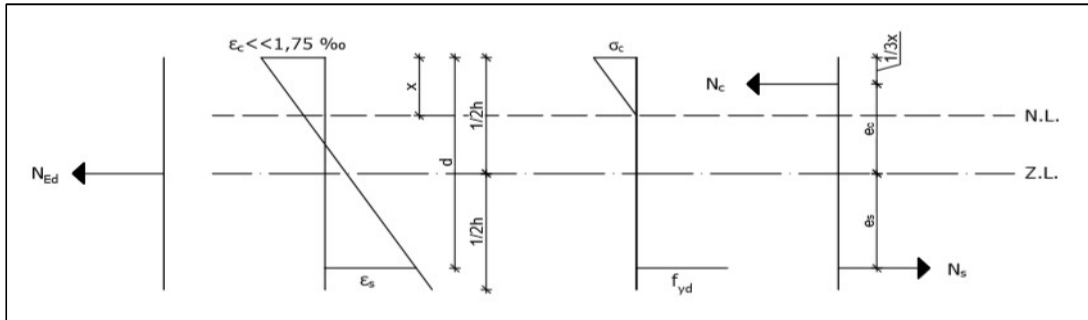
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\begin{aligned} M_{Ed,SLS} &= 261,9 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{Ed,SLS} &= 37 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,2 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in bruikbaarheidsgrenstoestand

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$\begin{aligned} e_s &= 1/2 * h - c - 1/2 * h_w = 400,5 \text{ mm} \\ e_c &= 1/2 * h - 1/3 * x = 434 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{x wordt later in de berekening berekend.}$$

Er wordt opnieuw door middel van gelijkvormigheid en figuur x4 de volgende formule opgesteld:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x)) / x$$

Door middel van horizontale evenwicht kunnen opnieuw de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin wordt de volgende formule gebruikt.

$$\sigma = E * e$$

$$N_c = 1/2 * x * b * \sigma_c \rightarrow N_c = 1/2 * x * b * E_{cm} * \varepsilon_c$$

$$N_s = A_s * \sigma_s \rightarrow N_s = A_s * E_s * \varepsilon_s$$

De formule voor de rek in het betonstaal ε_s , wordt ingevuld in de formule voor N_s :

$$N_s = A_s * E_s * (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x) / x)$$

De rek in het beton wordt uit het rechtild in beide formules geschreven, waardoor de volgende vergelijkingen overblijven.

$$N_c / \varepsilon_c = 1/2 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$N_s / \varepsilon_c = A_s * E_s * ((e_s + 1/2h - x) / x) \quad (b)$$

Door middel van het horizontale evenwicht: $N_c - N_s = N_{Ed}$, wordt ε_c gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = N_{Ed} / (a - b)$$

In deze formules is naast de rek in het beton ε_c , ook de hoogte van de betondrukzone x onbekend.

Om deze vergelijking op te lossen wordt er een tweede vergelijking opgesteld, de momenten worden berekend.

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Er ontstaan nu twee vergelijkingen, welke moeten gelden bij het oplossen van ε_c en x .

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0 \quad (1).$$

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLS} = 0 \quad (2).$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 0,000168 \\ x &= 103,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vervolgens dient gecontroleerd te worden of de berekende x juist aangenomen is.

$$\begin{aligned}(a) &= 2E+09 \\ (b) &= 2E+09\end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,000168$$

$$\begin{aligned}N_c &= 295915 \text{ N} & M_c &= 128437046,4 \text{ Nmm} \\ N_s &= 333166 \text{ N} & M_s &= 133432953,2 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Horizontale evenwicht geeft:

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$295915 - 333166 + 37250 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Ook de momenten worden gecontroleerd ten opzichte van de hoogte van de drukzone x

$$M_c + M_s - M_{Ed,SL} = 0$$

$$128437046,4 + 133432953,2 - 261870000 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma = F/A$):

$$\sigma_s = 248,6 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 248,6 \text{ N/mm}^2 \\ k_t &= 0,4 \quad \text{Lange belastingsduur} \\ f_{ct,eff} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm} \\ \rho_{p,eff} &= A_s/A_{ceff} = 0,008 - \\ &A_{ceff} = b * h_{ceff} \longrightarrow h_{ceff} = 170 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)} \\ &A_{ceff} = 170000 \text{ mm}^2 \\ \alpha_e &= E_s/E_{cm} = 5,865 -\end{aligned}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000745664$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) * \phi ; 15 * \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_2 &= 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_3 &= 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ c &= 60 \text{ mm} \\ \phi &= 16 \text{ mm} \\ \rho_{p,eff} &= 0,008 - \\ s_{rmax} &= 352 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$w_k = s_{rmax} * \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,26 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1,333$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,27

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,26

$$u.c. = 0,98 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

De minimale wapening wordt berekend aan de hand van het bovenstaande berekende scheurmoment.

$$A_{smin} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{stoe}$$

$$A_{smin} = 1177 \text{ mm}$$

$$u.c. = 0,88 \quad \text{Voldoet}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 477,3 \text{ mm}$$

$$\text{Waarin: } f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 3,375$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 143 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 334,1 \text{ mm} = 335 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden;

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 215 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 501,2 \text{ mm} = 505 \text{ mm}$$

5.2 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld)

De wapening wordt berekend ter plaatse van:

Bovenzijde

van de constructievloer in

Dwarsrichting

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$M_{ed,ULS} = 46 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,ULS} = -325 \text{ kN/m}^1$$

$$M_{ed,SLS} = 124 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = -197 \text{ kN/m}^1$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 937 \text{ mm}$$

$$c_{toe} = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 60 \text{ mm}$$

$$d = 861 \text{ mm}$$

Voor de volledige berekening dient de wapening aangenomen te worden.

$$\phi_{km_1} = 32 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 150 \text{ mm}$$

$$Laag = 1$$

$$A_s = 5362 \text{ mm}^2$$

Berekenen door middel van ctrl + d (eventueel een tweede keer)

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

$$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 23,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,39$$

$$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = 0,17 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{max} = 1,80 \text{ ‰}$$

Betonstaal = B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2E+05 \text{ N/mm}^2$$

Berekenen normaalkracht

De normaalkracht welke vanuit SCIA Engineer wordt weergegeven, wordt veiligheidshalve gerekend met 25% verlies. In de ULS-grenstoestand wordt deze waarde met factor 0,9 (gunstig) vermenigvuldigd. In de SLS-toestand wordt de belasting vanuit het krimp/kruip belastinggeval meegenomen.

$$N_{ed,ULS} = -219,3 \text{ kN/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = 37$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \eta / (\eta - 1)$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b h^2 = 146328167 \text{ mm}^3$$

$$\eta = (e * A_c) / W = 1,339$$

$$e = M_{Ed} / N_{Ed} = 209 \text{ mm}$$

$$A_c = b * h = 937000 \text{ mm}^2$$

$$M_{E,min} = 1853 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$1853 \text{ kNm/m}^1$$

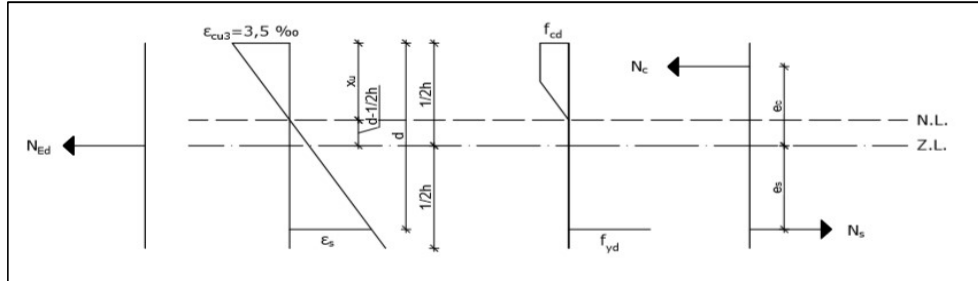
Controle bezwijkmoment

Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 2332318 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd: $N_c - N_s - N_{ed} = 0$



Figuur 1: Horizontale evenwicht bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (N_{ed} + (A_s * f_{yd})) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 146 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s + N_{ed} = 0 \longrightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) + N_{ed} - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$2551606 + -219287,25 - 2332318 = 0 \quad \text{Voldoet, } x_u \text{ is juist}$$

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur 1) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,017 \% \quad \text{Vloegrens betonstaal: } 0,002175 \% \quad \text{Wapening vloeit}$$

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur x2).

$$y_s = -1/2 * h + d = 392,5 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 915434967 \text{ Nmm} = 915,4 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 411,6 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 1050124258 \text{ Nmm} = 1050 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 46 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1966 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,02 \quad \text{Voldoet}$$

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd}) \\ f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}) \end{aligned}$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,17 \leq 0,535 \quad \text{Voldoet}$$

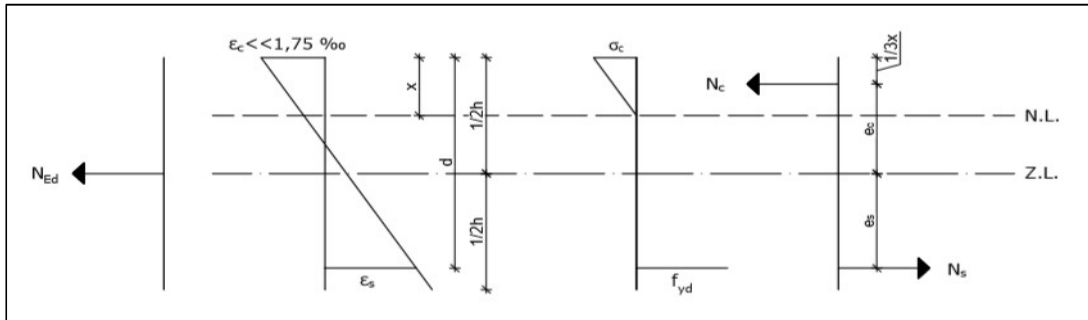
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\begin{aligned} M_{Ed,SLS} &= 124,1 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{Ed,SLS} &= 37 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,2 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in bruikbaarheidsgrenstoestand

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$\begin{aligned} e_s &= 1/2 * h - c - 1/2 * h_w = 392,5 \text{ mm} \\ e_c &= 1/2 * h - 1/3 * x = 407,5 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{x wordt later in de berekening berekend.}$$

Er wordt opnieuw door middel van gelijkvormigheid en figuur 2 de volgende formule opgesteld:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x)) / x$$

Door middel van horizontale evenwicht kunnen opnieuw de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin wordt de volgende formule gebruikt.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\begin{aligned} N_c &= 1/2 * x * b * \sigma_c \longrightarrow N_c = 1/2 * x * b * E_{cm} * \varepsilon_c \\ N_s &= A_s * \sigma_s \longrightarrow N_s = A_s * E_s * \varepsilon_s \end{aligned}$$

De formule voor de rek in het betonstaal ε_s , wordt ingevuld in de formule voor N_s :

$$N_s = A_s * E_s * (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x) / x)$$

De rek in het beton wordt uit het rechtild in beide formules geschreven, waardoor de volgende vergelijkingen overblijven.

$$N_c / \varepsilon_c = 1/2 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$N_s / \varepsilon_c = A_s * E_s * ((e_s + 1/2h - x) / x) \quad (b)$$

Door middel van het horizontale evenwicht: $N_c - N_s = N_{Ed}$, wordt ε_c gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = N_{Ed} / (a - b)$$

In deze formules is naast de rek in het beton ε_c , ook de hoogte van de betondrukzone x onbekend.

Om deze vergelijking op te lossen wordt er een tweede vergelijking opgesteld, de momenten worden berekend.

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Er ontstaan nu twee vergelijkingen, welke moeten gelden bij het oplossen van ε_c en x.

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0 \quad (1).$$

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLS} = 0 \quad (2).$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 0,000044 \\ x &= 183,1 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vervolgens dient gecontroleerd te worden of de berekende x juist aangenomen is.

$$\begin{aligned}(a) &= 3E+09 \\ (b) &= 4E+09\end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,000044$$

$$\begin{aligned}N_c &= 136866 \text{ N} & M_c &= 55769451,12 \text{ Nmm} \\ N_s &= 174116 \text{ N} & M_s &= 68340548,76 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Horizontale evenwicht geeft:

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$136866 - 174116 + 37250,45058 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Ook de momenten worden gecontroleerd ten opzichte van de hoogte van de drukzone x

$$M_c + M_s - M_{Ed,SL} = 0$$

$$55769451,12 + 68340548,76 - 124110000 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma = F/A$):

$$\sigma_s = 32,47 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 32,47 \text{ N/mm}^2 \\ k_t &= 0,4 \quad \text{Lange belastingsduur} \\ f_{ct,eff} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm} \\ \rho_{p,eff} &= A_s/A_{ceff} = 0,028 - \\ &A_{ceff} = b * h_{ceff} \longrightarrow h_{ceff} = 190 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)} \\ &A_{ceff} = 190000 \text{ mm}^2 \\ \alpha_e &= E_s/E_{cm} = 5,865 -\end{aligned}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 9,7423E-05$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{peff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) * \phi ; 15 * \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_2 &= 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_3 &= 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ c &= 60 \text{ mm} \\ \phi &= 32 \text{ mm} \\ \rho_{p,eff} &= 0,028 - \\ s_{rmax} &= 396,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$w_k = s_{rmax} * \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,04 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,04

$$u.c. = 0,19 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

De minimale wapening wordt berekend aan de hand van het bovenstaande berekende scheurmoment.

$$A_{smin} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{stoe}$$

$$A_{smin} = 5056 \text{ mm}$$

$$u.c. = 0,94 \quad \text{Voldoet}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Waarin: } f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,363$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 33 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 320 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 320 \text{ mm} = 320 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden;

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 49 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 480 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 480 \text{ mm} = 480 \text{ mm}$$

Wapening plaatsen tot: 2 m voor aansluiting wand (excl. verankeringslengte).

5.3 Wapening in vloer - Onderzijde (veld)

De wapening wordt berekend ter plaatse van:

Onderzijde

van de constructievloer in

Dwarsrichting

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$M_{ed,ULS} = 685 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,ULS} = -325 \text{ kN/m}^1$$

$$M_{ed,SLS} = 371 \text{ kNm/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = -197 \text{ kN/m}^1$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$c_{toe} = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 45 \text{ mm}$$

$$d = 732 \text{ mm}$$

Voor de volledige berekening dient de wapening aangenomen te worden.

$$\phi_{km_1} = 16 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 75 \text{ mm}$$

$$Laag = 1$$

$$A_s = 2681 \text{ mm}^2$$

Berekenen door middel van ctrl + d (eventueel een tweede keer)

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

$$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 23,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,50 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75 -$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,39 -$$

$$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = 0,17 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{max} = 1,80 \text{ ‰}$$

Betonstaal = B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2E+05 \text{ N/mm}^2$$

Berekenen normaalkracht

De normaalkracht welke vanuit SCIA Engineer wordt weergegeven, wordt veiligheidshalve gerekend met 25% verlies. In de ULS-grenstoestand wordt deze waarde met factor 0,9 (gunstig) vermenigvuldigd. In de SLS-toestand wordt de belasting vanuit het krimp/kruip belastinggeval meegenomen.

$$N_{ed,ULS} = -219,3 \text{ kN/m}^1$$

$$N_{ed,SLS} = 37$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \eta / (\eta - 1)$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b h^2 = 106666667 \text{ mm}^3$$

$$\eta = (e * A_c) / W = 23,41$$

$$e = M_{Ed} / N_{Ed} = 3122 \text{ mm}$$

$$A_c = b * h = 800000 \text{ mm}^2$$

$$M_{E,min} = 358 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$358 \text{ kNm/m}^1$$

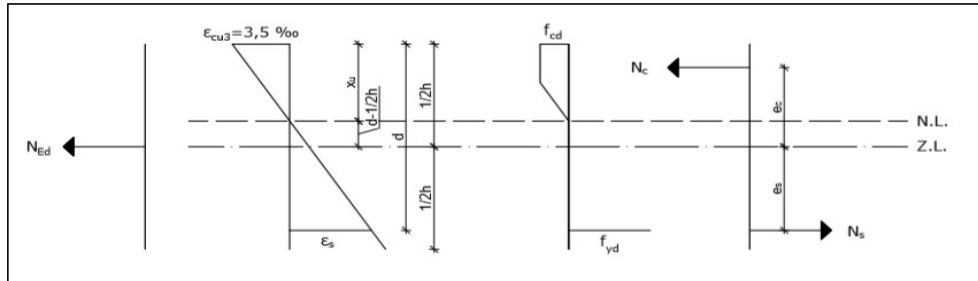
Controle bezwijkmoment

Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 1166159 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd: $N_c - N_s - N_{ed} = 0$



Figuur 1: Horizontale evenwicht bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (N_{ed} + (A_s * f_{yd})) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 79,28 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s + N_{ed} = 0 \longrightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) + N_{ed} - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$1385446 + -219287,25 - 1166159 = 0 \quad \text{Voldoet, } x_u \text{ is juist}$$

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur x) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,029 \% \quad \text{Vloegrens betonstaal: } 0,002175 \% \quad \text{Wapening vloeit}$$

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur 1).

$$y_s = -1/2 * h + d = 332 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 387164852 \text{ Nmm} = 387,2 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 369,1 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 511340802 \text{ Nmm} = 511,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 685 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 899 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,76 \quad \text{Voldoet}$$

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd}) \\ f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}) \end{aligned}$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,108 \leq 0,535 \quad \text{Voldoet}$$

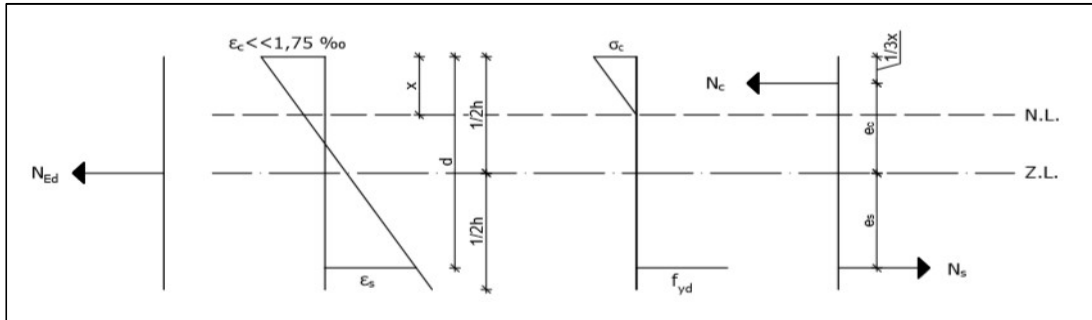
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\begin{aligned} M_{Ed,SLS} &= 370,9 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{Ed,SLS} &= 37 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,2 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in bruikbaarheidsgrenstoestand

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$\begin{aligned} e_s &= 1/2 * h - c - 1/2 * h_w = 332,0 \text{ mm} \\ e_c &= 1/2 * h - 1/3 * x = 355,8 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{x wordt later in de berekening berekend.}$$

Er wordt opnieuw door middel van gelijkvormigheid en figuur 2 de volgende formule opgesteld:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x)) / x$$

Door middel van horizontale evenwicht kunnen opnieuw de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin wordt de volgende formule gebruikt.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\begin{aligned} N_c &= 1/2 * x * b * \sigma_c \longrightarrow N_c = 1/2 * x * b * E_{cm} * \varepsilon_c \\ N_s &= A_s * \sigma_s \longrightarrow N_s = A_s * E_s * \varepsilon_s \end{aligned}$$

De formule voor de rek in het betonstaal ε_s , wordt ingevuld in de formule voor N_s :

$$N_s = A_s * E_s * (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x) / x)$$

De rek in het beton wordt uit het rechtild in beide formules geschreven, waardoor de volgende vergelijkingen overblijven.

$$N_c / \varepsilon_c = 1/2 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$N_s / \varepsilon_c = A_s * E_s * ((e_s + 1/2h - x) / x) \quad (b)$$

Door middel van het horizontale evenwicht: $N_c - N_s = N_{Ed}$, wordt ε_c gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = N_{Ed} / (a - b)$$

In deze formules is naast de rek in het beton ε_c , ook de hoogte van de betondrukzone x onbekend.

Om deze vergelijking op te lossen wordt er een tweede vergelijking opgesteld, de momenten worden berekend.

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Er ontstaan nu twee vergelijkingen, welke moeten gelden bij het oplossen van ε_c en x .

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0 \quad (1).$$

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLS} = 0 \quad (2).$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 0,000231 \\ x &= 132,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Vervolgens dient gecontroleerd te worden of de berekende x juist aangenomen is.

$$\begin{aligned}(a) &= 2E+09 \\ (b) &= 2E+09\end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,000231$$

$$\begin{aligned}N_c &= 521268 \text{ N} & M_c &= 185461800,5 \text{ Nmm} \\ N_s &= 558519 \text{ N} & M_s &= 185428199,2 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Horizontale evenwicht geeft:

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$521268 - 558519 + 37250,45058 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Ook de momenten worden gecontroleerd ten opzichte van de hoogte van de drukzone x

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLs} = 0$$

$$185461800,5 + 185428199,2 - 370890000 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma = F/A$):

$$\sigma_s = 208,3 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 208,3 \text{ N/mm}^2 \\ k_t &= 0,4 \quad \text{Lange belastingsduur} \\ f_{ct,eff} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm} \\ \rho_{p,eff} &= A_s/A_{ceff} = 0,016 - \\ &A_{ceff} = b * h_{ceff} \longrightarrow h_{ceff} = 170 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)} \\ &A_{ceff} = 170000 \text{ mm}^2 \\ \alpha_e &= E_s/E_{cm} = 5,865 -\end{aligned}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000625015$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{peff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) * \phi ; 15 * \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_2 &= 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_3 &= 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ c &= 60 \text{ mm} \\ \phi &= 16 \text{ mm} \\ \rho_{p,eff} &= 0,016 - \\ s_{rmax} &= 352 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$w_k = s_{rmax} * \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,22 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1,333$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,27

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,22

$$u.c. = 0,83 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

De minimale wapening wordt berekend aan de hand van het bovenstaande berekende scheurmoment.

$$A_{smin} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{stoe}$$

$$A_{smin} = 1067 \text{ mm}$$

$$u.c. = 0,40 \quad \text{Voldoet}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 392,8 \text{ mm}$$

$$\text{Waarin: } f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 3,375$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 118 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 275 \text{ mm} = 275 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden;

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 177 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 412,5 \text{ mm} = 415 \text{ mm}$$

Wapening doorleggen tot: 2 m na wand (excl. verankeringslengte).

5.4 Wapening in vloer - Onderzijde (veld) - Lengterichting

De wapening wordt berekend ter plaatse van: **Onderzijde** van de constructievloer in **Lengterichting**.
In de lengterichting wordt gerekend met een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,2 ten opzichte van M_{Ed} in de dwarsrichting.

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$\begin{aligned} M_{ed,ULS} &= 158 \text{ kNm/m}^1 & M_{Ed,ULS} &= 261 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{ed,ULS} &= 1 \text{ kN/m}^1 \\ M_{ed,SLS} &= 285 \text{ kNm/m}^1 & M_{Ed,SLS} &= 337 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{ed,SLS} &= 27 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 800 \text{ mm} \\ c_{toe} &= 60 \text{ mm} \\ c_{nom} &= 45 \text{ mm} \\ d &= 716 \text{ mm} \end{aligned}$$

Voor de volledige berekening dient de wapening aangenomen te worden.

$$\begin{aligned} \phi_{km_1} &= 16 \text{ mm} \\ h.o.h. &= 125 \text{ mm} \\ Laag &= 2 \\ A_s &= 1608 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berekenen door middel van ctrl + d (eventueel een tweede keer)

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 35,00 \text{ N/mm}^2 & \epsilon_{c3} &= 1,75 \text{ ‰} \\ f_{cd} &= 23,30 \text{ N/mm}^2 & \epsilon_{cu3} &= 3,50 \text{ ‰} \\ f_{ctd} &= 1,50 \text{ N/mm}^2 & \alpha &= 0,75 - \\ f_{ctm} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 & \beta &= 0,39 - \\ f_{cm} &= 43,00 \text{ N/mm}^2 & \rho_{min} &= 0,17 \text{ ‰} \\ E_{cm} &= 34100 \text{ N/mm}^2 & \rho_{max} &= 1,80 \text{ ‰} \end{aligned}$$

Betonstaal = B500B

$$\begin{aligned} f_{yk} &= 500 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \\ E_s &= 2E+05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Berekenen normaalkracht

De normaalkracht welke vanuit SCIA Engineer wordt weergegeven, wordt veiligheidshalve gerekend met 25% verlies. In de ULS-grenstoestand wordt deze waarde met factor 0,9 (gunstig) vermenigvuldigd. In de SLS-toestand wordt de belasting vanuit het krimp/kruip belastinggeval meegenomen.

$$N_{ed,ULS} = 1 \text{ kN/m}^1 \quad N_{ed,SLS} = -23$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \eta / (\eta - 1)$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} f_{ctm} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \\ W &= 1/6 * b h^2 = 106666667 \text{ mm}^3 \\ \eta &= (e * A_c) / W = 1183 \\ e &= M_{Ed} / N_{Ed} = 157790 \text{ mm} \\ A_c &= b * h = 800000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{E,min} = 343 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$343 \text{ kNm/m}^1$$

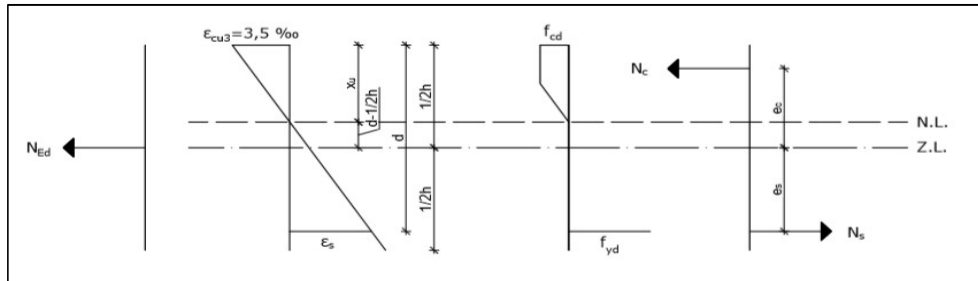
Controle bezwijkmoment

Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 699696 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd: $N_c - N_s - N_{ed} = 0$



Figuur 1: Horizontale evenwicht bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (N_{ed} + (A_s * f_{yd})) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 39,98 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s + N_{ed} = 0 \longrightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) + N_{ed} - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$698696 + 1000 - 699696 = 0 \quad \text{Voldoet, } x_u \text{ is juist}$$

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur x) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,059 \% \quad \text{Vloiegrens betonstaal: } 0,002175 \% \quad \text{Wapening vloeit}$$

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur 1).

$$y_s = -1/2 * h + d = 316 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 221103783 \text{ Nmm} = 221,1 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 384,4 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 268583304 \text{ Nmm} = 268,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 158 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 490 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,32 \quad \text{Voldoet}$$

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd}) \\ f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}) \end{aligned}$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,056 \leq 0,535 \quad \text{Voldoet}$$

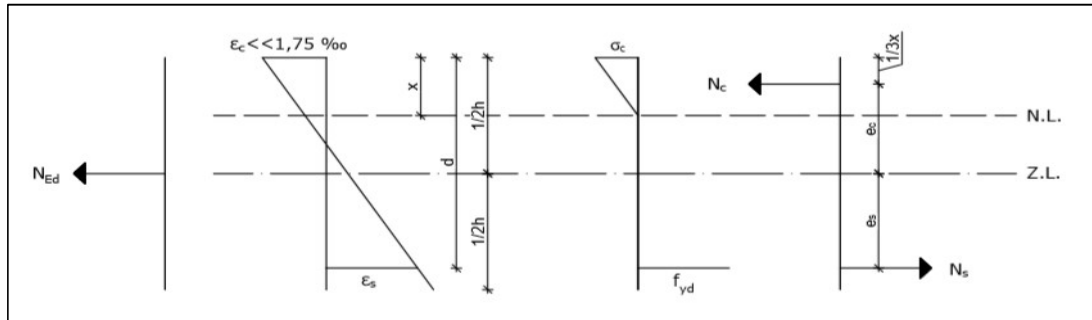
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\begin{aligned} M_{Ed,SLS} &= 284,8 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{Ed,SLS} &= -23 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,2 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in bruikbaarheidsgrenstoestand

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$\begin{aligned} e_s &= 1/2 * h - c - 1/2 * h_w = 332,0 \text{ mm} \\ e_c &= 1/2 * h - 1/3 * x = 362,9 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{x wordt later in de berekening berekend.}$$

Er wordt opnieuw door middel van gelijkvormigheid en figuur 2 de volgende formule opgesteld:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x)) / x$$

Door middel van horizontale evenwicht kunnen opnieuw de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin wordt de volgende formule gebruikt.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\begin{aligned} N_c &= 1/2 * x * b * \sigma_c \longrightarrow N_c = 1/2 * x * b * E_{cm} * \varepsilon_c \\ N_s &= A_s * \sigma_s \longrightarrow N_s = A_s * E_s * \varepsilon_s \end{aligned}$$

De formule voor de rek in het betonstaal ε_s , wordt ingevuld in de formule voor N_s :

$$N_s = A_s * E_s * (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x) / x)$$

De rek in het beton wordt uit het rechtlijn in beide formules geschreven, waardoor de volgende vergelijkingen overblijven.

$$N_c / \varepsilon_c = 1/2 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$N_s / \varepsilon_c = A_s * E_s * ((e_s + 1/2h - x) / x) \quad (b)$$

Door middel van het horizontale evenwicht: $N_c - N_s = N_{Ed}$, wordt ε_c gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = N_{Ed} / (a - b)$$

In deze formules is naast de rek in het beton ε_c , ook de hoogte van de betondrukzone x onbekend.

Om deze vergelijking op te lossen wordt er een tweede vergelijking opgesteld, de momenten worden berekend.

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Er ontstaan nu twee vergelijkingen, welke moeten gelden bij het oplossen van ε_c en x .

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0 \quad (1).$$

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLS} = 0 \quad (2).$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 0,000222 \\ x &= 111,3 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

Vervolgens dient gecontroleerd te worden of de berekende x juist aangenomen is.

$$\begin{aligned}(a) &= 2E+09 \\ (b) &= 2E+09\end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,000222$$

$$\begin{aligned}N_c &= 420817 \quad \text{N} & M_c &= 152716283,1 \quad \text{Nmm} \\ N_s &= 397933 \quad \text{N} & M_s &= 132113717 \quad \text{Nmm}\end{aligned}$$

Horizontale evenwicht geeft:

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$420817 - 397933 + -22884,54942 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Ook de momenten worden gecontroleerd ten opzichte van de hoogte van de drukzone x

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLs} = 0$$

$$152716283,1 + 132113717 - 284830000 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma = F/A$):

$$\sigma_s = 247,4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 247,4 \text{ N/mm}^2 \\ k_t &= 0,4 \quad \text{Lange belastingsduur} \\ f_{ct,eff} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm} \\ \rho_{p,eff} &= A_s/A_{ceff} = 0,008 - \\ &A_{ceff} = b * h_{ceff} \longrightarrow h_{ceff} = 210 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)} \\ &A_{ceff} = 210000 \text{ mm}^2 \\ \alpha_e &= E_s/E_{cm} = 5,865 -\end{aligned}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000742183$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) * \phi ; 15 * \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_2 &= 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_3 &= 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ c &= 60 \text{ mm} \\ \phi &= 16 \text{ mm} \\ \rho_{p,eff} &= 0,008 - \\ s_{rmax} &= 352 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$w_k = s_{rmax} * \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,26 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1,333$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,27

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,26

$$u.c. = 0,98 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

De minimale wapening wordt berekend aan de hand van het bovenstaande berekende scheurmoment.

$$A_{smin} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{stoe}$$

$$A_{smin} = 1126 \text{ mm}$$

$$u.c. = 0,70 \quad \text{Voldoet}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 418,9 \text{ mm}$$

$$\text{Waarin: } f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,363$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 126 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 293,2 \text{ mm} = 295 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden;

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 188 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 439,8 \text{ mm} = 440 \text{ mm}$$

5.5 Wapening in vloer - Bovenzijde (veld) - Lengterichting

De wapening wordt berekend ter plaatse van: **Bovenzijde** van de constructievloer **Lengterichting**
In de lengterichting wordt gerekend met een dwarscontractiecoëfficiënt van 0,2 ten opzichte van M_{Ed} in de dwarsrichting.

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$\begin{aligned} M_{ed,ULS} &= 144,8 \text{ kNm/m}^1 & M_{Ed,ULS} &= 154 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{ed,ULS} &= 50 \text{ kN/m}^1 \\ M_{ed,SLS} &= 187,9 \text{ kNm/m}^1 & M_{Ed,SLS} &= 213 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{ed,SLS} &= 26,9 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 800 \text{ mm} \\ c_{toe} &= 60 \text{ mm} \\ c_{nom} &= 60 \text{ mm} \\ d &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Voor de volledige berekening dient de wapening aangenomen te worden.

$$\begin{aligned} \phi_{km_1} &= 16 \text{ mm} \\ h.o.h. &= 125 \text{ mm} \\ Laag &= 2 \\ A_s &= 1608 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berekenen door middel van ctrl + d (eventueel een tweede keer)

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaolgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

$$\begin{aligned} f_{ck} &= 35,00 \text{ N/mm}^2 & \epsilon_{c3} &= 1,75 \text{ ‰} \\ f_{cd} &= 23,30 \text{ N/mm}^2 & \epsilon_{cu3} &= 3,50 \text{ ‰} \\ f_{ctd} &= 1,50 \text{ N/mm}^2 & \alpha &= 0,75 - \\ f_{ctm} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 & \beta &= 0,39 - \\ f_{cm} &= 43,00 \text{ N/mm}^2 & \rho_{min} &= 0,17 \text{ ‰} \\ E_{cm} &= 34100 \text{ N/mm}^2 & \rho_{max} &= 1,80 \text{ ‰} \end{aligned}$$

Betonstaal = B500B

$$\begin{aligned} f_{yk} &= 500 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \\ E_s &= 2E+05 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Berekenen normaalkracht

De normaalkracht welke vanuit SCIA Engineer wordt weergegeven, wordt veiligheidshalve gerekend met 25% verlies. In de ULS-grenstoestand wordt deze waarde met factor 0,9 (gunstig) vermenigvuldigd. In de SLS-toestand wordt de belasting vanuit het krimp/kruip belastinggeval meegenomen.

$$N_{ed,ULS} = 50 \text{ kN/m}^1 \quad N_{ed,SLS} = -23$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W * \eta / (\eta - 1)$$

Waarbij:

$$\begin{aligned} f_{ctm} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \\ W &= 1/6 * b h^2 = 106666667 \text{ mm}^3 \\ \eta &= (e * A_c) / W = 21,72 \\ e &= M_{Ed} / N_{Ed} = 2896 \text{ mm} \\ A_c &= b * h = 800000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{E,min} = 359 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$359 \text{ kNm/m}^1$$

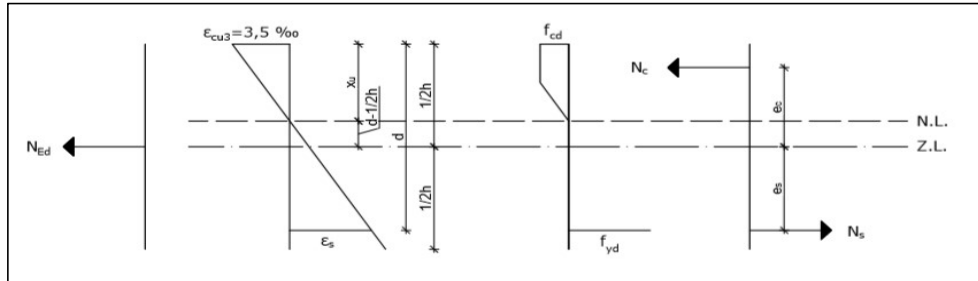
Controle bezwijkmoment

Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 699696 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd: $N_c - N_s - N_{ed} = 0$



Figuur 1: Horizontale evenwicht bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (N_{ed} + (A_s * f_{yd})) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 37,18 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s + N_{ed} = 0 \longrightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) + N_{ed} - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$649696 + 50000 - 699696 = 0 \quad \text{Voldoet, } x_u \text{ is juist}$$

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur 1) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,062 \% \quad \text{Vloeigrens betonstaal: } 0,002175 \% \quad \text{Wapening vloeit}$$

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur 1).

$$y_s = -1/2 * h + d = 300 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 209908655 \text{ Nmm} = 209,9 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 385,5 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 250457854 \text{ Nmm} = 250,5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 145 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 460 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,31 \quad \text{Voldoet}$$

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$\begin{aligned} f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd}) \\ f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 & \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd}) \end{aligned}$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,053 \leq 0,535 \quad \text{Voldoet}$$

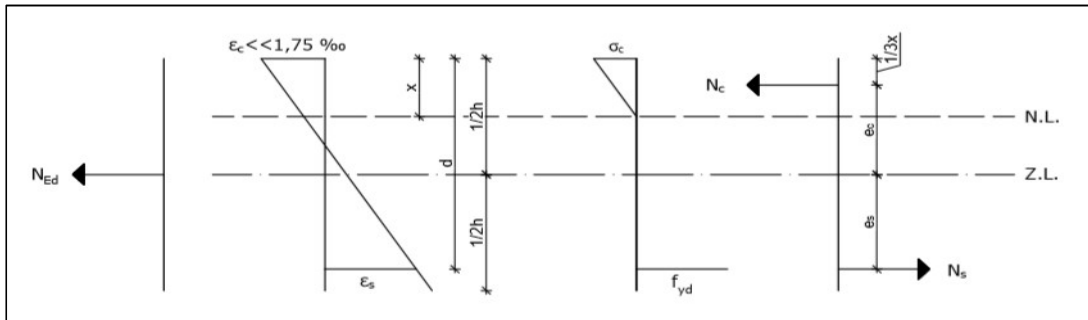
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\begin{aligned} M_{Ed,SLS} &= 187,9 \text{ kNm/m}^1 \\ N_{Ed,SLS} &= -23 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,2 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in bruikbaarheidsgrenstoestand

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$\begin{aligned} e_s &= 1/2 * h - c - 1/2 * h_w = 332,0 \text{ mm} \\ e_c &= 1/2 * h - 1/3 * x = 362,4 \text{ mm} \end{aligned} \quad \text{x wordt later in de berekening berekend.}$$

Er wordt opnieuw door middel van gelijkvormigheid en figuur 2 de volgende formule opgesteld:

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x)) / x$$

Door middel van horizontale evenwicht kunnen opnieuw de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin wordt de volgende formule gebruikt.

$$\sigma = E * \varepsilon$$

$$\begin{aligned} N_c &= 1/2 * x * b * \sigma_c \longrightarrow N_c = 1/2 * x * b * E_{cm} * \varepsilon_c \\ N_s &= A_s * \sigma_s \longrightarrow N_s = A_s * E_s * \varepsilon_s \end{aligned}$$

De formule voor de rek in het betonstaal ε_s , wordt ingevuld in de formule voor N_s :

$$N_s = A_s * E_s * (\varepsilon_c * (e_s + 1/2h - x) / x)$$

De rek in het beton wordt uit het rechtlijn in beide formules geschreven, waardoor de volgende vergelijkingen overblijven.

$$N_c / \varepsilon_c = 1/2 * x * b * E_c \quad (a)$$

$$N_s / \varepsilon_c = A_s * E_s * ((e_s + 1/2h - x) / x) \quad (b)$$

Door middel van het horizontale evenwicht: $N_c - N_s = N_{Ed}$, wordt ε_c gedefinieerd.

$$\varepsilon_c = N_{Ed} / (a - b)$$

In deze formules is naast de rek in het beton ε_c , ook de hoogte van de betondrukzone x onbekend.

Om deze vergelijking op te lossen wordt er een tweede vergelijking opgesteld, de momenten worden berekend.

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_s = N_s * e_s$$

$$M_c = N_c * e_c$$

Er ontstaan nu twee vergelijkingen, welke moeten gelden bij het oplossen van ε_c en x.

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0 \quad (1).$$

$$M_c + M_s - M_{Ed,SLS} = 0 \quad (2).$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= 0,000146 \\ x &= 112,8 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

Vervolgens dient gecontroleerd te worden of de berekende x juist aangenomen is.

$$\begin{aligned}(a) &= 2E+09 \\ (b) &= 2E+09\end{aligned}$$

$$\varepsilon_c = 0,000146$$

$$\begin{aligned}N_c &= 281459 \quad \text{N} & M_c &= 102003307,6 \quad \text{Nmm} \\ N_s &= 258574 \quad \text{N} & M_s &= 85846692,49 \quad \text{Nmm}\end{aligned}$$

Horizontale evenwicht geeft:

$$N_c - N_s + N_{Ed} = 0$$

$$281459 - 258574 + -22884,54942 = 0$$

Voldoet

Ook de momenten worden gecontroleerd ten opzichte van de hoogte van de drukzone x

$$M_c + M_s - M_{Ed,SL} = 0$$

$$102003307,6 + 85846692,49 - 187850000 = 0$$

Voldoet

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma = F/A$):

$$\sigma_s = 160,8 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\begin{aligned}\sigma_s &= 160,8 \text{ N/mm}^2 \\ k_t &= 0,4 \quad \text{Lange belastingsduur} \\ f_{ct,eff} &= 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm} \\ \rho_{p,eff} &= A_s/A_{ceff} = 0,007 - \\ &A_{ceff} = b * h_{ceff} \longrightarrow h_{ceff} = 229,1 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)} \\ &A_{ceff} = 229075,8807 \text{ mm}^2 \\ \alpha_e &= E_s/E_{cm} = 5,865 -\end{aligned}$$

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,000482266$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 * c + k_1 * k_2 * k_4 * \phi / \rho_{p,eff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) * \phi ; 15 * \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$\begin{aligned}k_1 &= 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_2 &= 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4} \\ k_3 &= 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\ c &= 60 \text{ mm} \\ \phi &= 16 \text{ mm} \\ \rho_{p,eff} &= 0,007 - \\ s_{rmax} &= 352 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$w_k = s_{rmax} * \epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,17 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,17

$$u.c. = 0,85 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

De minimale wapening wordt berekend aan de hand van het bovenstaande berekende scheurmoment.

$$A_{smin} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{stoe}$$

$$A_{smin} = 1254 \text{ mm}$$

$$u.c. = 0,78 \quad \text{Voldoet}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 272,2 \text{ mm}$$

$$\text{Waarin: } f_{bd} = 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd}$$

$$f_{bd} = 2,363$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 82 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 190,5 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3.

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden;

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 122 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 285,8 \text{ mm} = 290 \text{ mm}$$

5.6 Dwarskracht in de vloer

De dwarskracht in de vloer dient gecontroleerd te worden aan de dwarskrachtweerstand V_{rdc} , ook dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Ook wordt de normaalkracht meegenomen in de berekening.

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= 120 \text{ kN/m}^1 \\ N_{Ed} &= -219,3 \text{ kN/m}^1 \end{aligned}$$

Vanuit de berekening van de hoofdwapening, worden een aantal gegevens weergegeven.

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 800 \text{ mm} \\ d &= 732 \text{ mm} \\ A_s &= 1340 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \\ \rho_l &= 0,002 - \\ f_{ck} &= 35,0 \text{ N/mm}^2 \\ f_{cd} &= 23,3 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

De volgende waarden worden gedefinieerd (NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2).

$$\begin{aligned} C_{rdc} &= 0,12 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ k &= 1,523 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2 (1)} \\ k_1 &= 0,15 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ \sigma_{cp} &= 0,27 \text{ N/mm}^2 \text{ NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2 (1)} \\ v_1 &= 0,516 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ \alpha_{cw} &= 1,0 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - vgl 6.11.aN} \end{aligned}$$

De dwarskrachtweerstand bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2:

$$V_{rdc} = [C_{rdc} * k(100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3} + k_1 * \sigma_{cp}] * b_w * d \geq (0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$V_{rdc} = 314896 \text{ N} = 314,9 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,38 \quad \text{Voldoet, geen dwarskrachtwapening nodig (onderstaande paragraaf overslaan)}$$

Dwarskrachtwapening benodigd

Deze paragraaf dient alleen doorlopen te worden, wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden door het beton.

Wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden, dient de gehele dwarskracht opgenomen te worden door middel van beugels.

Voor de berekening van de dwarskrachtwapening dient de hoek van de drukdiagonaal van het beton en de as van de ligger loodrecht op de dwarskracht bekend te zijn. Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 (2) bevindt deze hoek (θ) zich tussen $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$A_{sw}/s_w = V_{Ed} / (0,9d * f_{yd} * \cot \theta * b)$$

$$A_{sw}/s_w = 167 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dwarskrachtwapening niet benodigd}$$

$$\text{Keuze: } \emptyset 8 - 300 = 335 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dubbelsnedig}$$

$$u.c. = 0,50 \quad \text{Voldoet}$$

Controle drukdiagonaal

Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Dit voorkomt dat er teveel wapening gekozen wordt, waardoor het beton bezwijkt op druk.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * 0,9d * v_1 * f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$V_{Rd,max} = 2731107 \text{ N} = 2731 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,04 \quad \text{Geometrie voldoet}$$

6 Wapening wandconstructie

De wapening wordt berekend in de betonconstructiewanden. De relevante momenten, normaalkracht en dwarskracht worden berekend met behulp van SCIA Engineer. De doorsnedecontroles worden onderstaand uitgevoerd. De uit te voeren controles bestaan uit:

Wanden:

- Hoofdwapening – verticale richting grondzijde dikke wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting grondzijde dunne wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting zichtzijde dikke wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – verticale richting zichtzijde dunne wand (1^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting grondzijde dikke wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting grondzijde dunne wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting zichtzijde dikke wand (2^e laag);
- Hoofdwapening – horizontale richting zichtzijde dunne wand (2^e laag);
- Dwarskrachtwapening – dwarsrichting dikke wand;
- Dwarskrachtwapening – dwarsrichting dunne wand.

6.1 Wapening in wand - Grondzijde dikke wand - Verticale wapening

De wapening wordt berekend ter plaatse van de grondzijde in de horizontale richting, t.p.v. de dikke wand.

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$M_{ed,ULS} = 591 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{ed,SLS} = 322 \text{ kNm/m}^1$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$c_{toe} = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 730 \text{ mm}$$

Voor de volledige berekening dient een aanname gedaan te worden, voor de wapening.

$$\phi_{km_1} = 20 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 100 \text{ mm}$$

$$Laag = 1$$

$$A_s = 3142 \text{ mm}^2$$

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

$$\text{Betonsterkteklasse} = C35/45$$

$$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 23,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75 -$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,39 -$$

$$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = 0,17 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{max} = 1,8 \text{ ‰}$$

$$\text{Betonstaal} = B500B$$

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2E+05 \text{ N/mm}^2$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b h^2 = 106666666,7 \text{ mm}^3$$

$$M_{E,min} = 342 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment:

$$591 \text{ kNm/m}^1$$

Controle bezwijkmoment

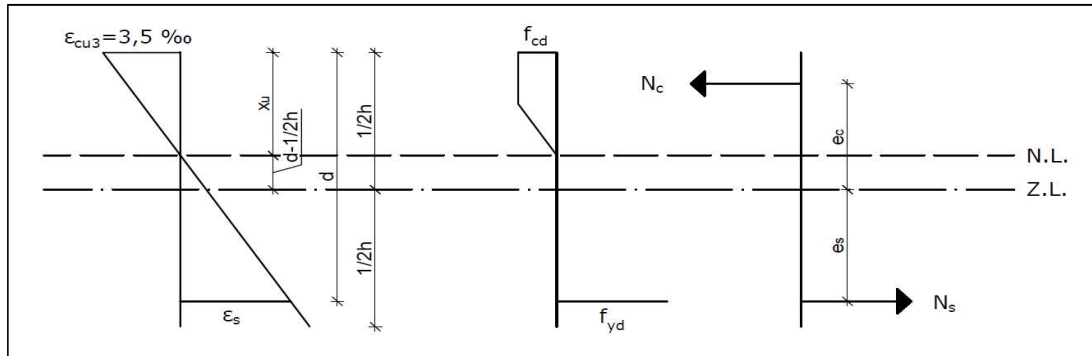
Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 1366593 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd:

$$N_c - N_s = 0$$



Figuur 1: Horizontaal evenwicht in de bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (A_s * f_{yd}) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 78,2 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s = 0 \rightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$1366593 - 1366593 = 0$$

Voldoet, x_u is juist

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur 1) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,029 \%$$

Vloeigrens betonstaal:

$$0,002175 \%$$

Wapening vloeit

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur x2).

$$y_s = -1/2 * h + d = 330 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 450975625,4 \text{ Nmm} = 451,0 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 369,5009331 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 504957316,4 \text{ Nmm} = 505,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 591 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 956 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,62$$

Voldoet

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd})$$

$$f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd})$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,107 \leq 0,535$$

Voldoet

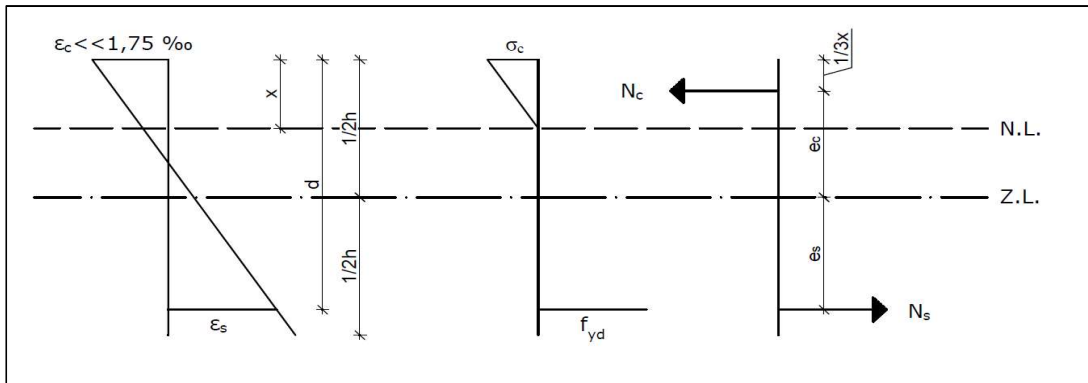
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$M_{Ed,SLS} = 321,8 \text{ kNm/m}^1$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spannings-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in de bruikbaarheidsgrenstoestand

Door middel van het horizontale evenwicht kunnen de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin worden de volgende formules gebruikt.

$$N_c - N_s = 0$$

$$N_c = \alpha \cdot b \cdot f_{cd} \cdot x_u$$

$$N_s = A_s \cdot f_{yd}$$

De kracht in het staal N_s is:

$$N_s = 1366593 \text{ N}$$

De maximale betondrukzone wordt berekend volgens:

$$x_u = (A_s \cdot f_{yd}) / (\alpha \cdot b \cdot f_{cd})$$

$$x_u = 78,20 \text{ mm}$$

De kracht in het beton N_c is:

$$N_c = 1366593 \text{ N}$$

Uit het evenwicht volgt dan:

$$N_c - N_s = 0$$

$$1366593 - 1366593 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Om de optredende staalspanning te berekenen wordt gesteld dat:

$$\sigma_{s,SLS} = M_{SLS} / M_{Rd} \cdot f_{yd}$$

$$M_{SLS} = 321840000 \text{ Nmm}$$

$$M_{Rd} = 955932942 \text{ Nmm}$$

De optredende staalspanning is dus:

$$\sigma_{s,freq} = 146,5 \text{ N/mm}^2$$

De optredende kracht in het staal N_s is:

$$N_s = A_s \cdot \sigma_{s,freq}$$

$$N_s = 460099 \text{ N}$$

Door middel van het horizontale momentevenwicht kunnen de formules voor M_c en M_s opgesteld worden. Hierin worden de volgende formules gebruikt:

$$M_s = N_s \cdot e_s$$

$$M_c = N_c \cdot e_c$$

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_c + M_s = M_{Ed,SLS}$$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$e_s = 1/2 \cdot h - c - 1/2 \cdot h_w = 330,0 \text{ mm}$$

$$e_c = 1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x$$

x wordt later in de berekening berekend.

De op te lossen vergelijking is als volgt:

$$M_s = N_s \cdot e_s = 151,8 \text{ kNm}$$

Het momentevenwicht geeft:

$$M_c + M_s = M_{Ed,SLS}$$

$$M_c + 151,8 = 321,8 \text{ kNm}$$

$$M_c = 321,8 - 151,8 = 170,0 \text{ kNm}$$

Er wordt door middel van gelijkvormigheid de volgende formule opgesteld:

$$M_c = N_c \cdot (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x) = 170,0 \text{ kNm}$$

$$M_c/N_s = (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x)$$

$$369,5 = (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x)$$

$$1/3 \cdot x = 30,5 \text{ mm}$$

$$x = 91,5 \text{ mm}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma_{s,SLS}$):

$$\sigma_{s,SLS} = 146,5 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\sigma_s = 146,5 \text{ N/mm}^2$$

$$k_t = 0,4$$

$$f_{ct,eff} = 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{ceff} = 0,018 -$$

$$A_{ceff} = b \cdot h_{ceff} \rightarrow h_{ceff} = 175 \text{ mm}$$

$$A_{ceff} = 175000 \text{ mm}^2$$

$$\text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)}$$

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 5,865 -$$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,000439363$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{p,eff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) \cdot \phi ; 15 \cdot \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$k_1 = 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4}$$

$$k_3 = 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4}$$

$$\begin{aligned}
 k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\
 c &= 60 \text{ mm} \\
 \emptyset &= 20 \text{ mm} \\
 \rho_{p,eff} &= 0,018 -
 \end{aligned}$$

$$s_{rmax} = 393,4 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{rmax} * \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,17 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1,5$$

Echter is vastgesteld dat de maximale scheurwijdte voor heel de constructie op 0,20 mm bedraagt.

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,17

$$u.c. = 0,86 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast} \\
 A_{s,min} &= 1944 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,toe} &\geq A_{s,min} \\
 3142 &\geq 1944 \quad \text{Voldoet}
 \end{aligned}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$\begin{aligned}
 l_{b,rqd} &= 0,25 * \emptyset * (\sigma_{sd} / f_{bd}) \\
 l_{b,rqd} &= 217 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waarin: } f_{bd} &= 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} \\
 f_{bd} &= 3,375
 \end{aligned}$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$\begin{aligned}
 0,3 * l_{b,rqd} &= 65 \text{ mm} \\
 10 * \emptyset &= 200 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_{bd} = 217 \text{ mm} = 220,0 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden:

$$\begin{aligned}
 0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} &= 98 \text{ mm} \\
 15 * \emptyset &= 300 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_0 = 325,5 \text{ mm} = 330,0 \text{ mm}$$

6.2 Wapening in wand - Zichtzijde dikke wand

De momentenverdeling in de wanden aan de zichtzijde is dusdanig dat er geen trek optreedt. Derhalve wordt er praktische wapening toegepast op basis van de wapening aan de grondzijde.

Toe te passen wapening

$$\phi_{km,1} = 16 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Laag} = 1$$

$$A_s = 1340 \text{ mm}^2$$

Deze wapening moet nog getoetst worden aan de minimale wapening.

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$A_{s,min} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast}$$

$$M_{E,min} = 342 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{rd} = A_s * f_{yd} * 0,9 d$$

$$M_{rd} = 383 \text{ kNm/m}^1$$

$$A_{s,min} = 1198 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,toe} \geq A_{s,min}$$

$$1340 \geq 1198$$

$$u.c. = 0,89$$

Voldoet

6.3 Wapening in wand - Grondzijde dunne wand - Verticale wapening

De wapening wordt berekend ter plaatse van de grondzijde in de horizontale richting, t.p.v. de dunne wand.

Waarden vanuit SCIA Engineer

$$M_{ed,ULS} = 31 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{ed,SLS} = 16 \text{ kNm/m}^1$$

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$c_{toe} = 60 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 40 \text{ mm}$$

$$d = 432 \text{ mm}$$

Voor de volledige berekening dient een aanname gedaan te worden, voor de wapening.

$$\phi_{km_1} = 16 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 300 \text{ mm}$$

$$Laag = 1$$

$$A_s = 670,2 \text{ mm}^2$$

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

$$\text{Betonsterkteklasse} = C35/45$$

$$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{c3} = 1,75 \text{ ‰}$$

$$f_{cd} = 23,30 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$$

$$f_{ctd} = 1,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha = 0,75$$

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = 0,39$$

$$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{min} = 0,17 \text{ ‰}$$

$$E_{cm} = 34100 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{max} = 1,8 \text{ ‰}$$

$$\text{Betonstaal} = B500B$$

$$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s = 2E+05 \text{ N/mm}^2$$

Controle scheurmoment

Als eerste dient het scheurmoment gecontroleerd te worden. Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 9.2.1.1 (1) wordt het minimale scheurmoment als volgt berekend.

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b h^2 = 41666666,67 \text{ mm}^3$$

$$M_{E,min} = 134 \text{ kNm/m}^1$$

De minimale wapening wordt bepaald aan de hand van het volgende moment: 134 kNm/m^1

Controle bezwijkmoment

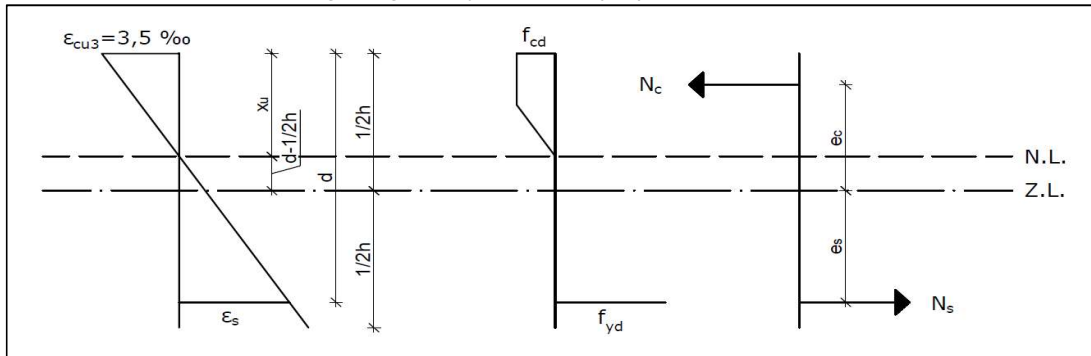
Vervolgens wordt de kracht in het staal (N_s) bepaald en wordt de betondrukzone gecontroleerd:

$$F = \sigma * A \longrightarrow N_s = f_{yd} * A_s$$

$$N_s = 291540 \text{ N}$$

Het horizontale evenwicht vanuit figuur 1 geldt altijd:

$$N_c - N_s = 0$$



Figuur 1: Horizontaal evenwicht in de bezwijktoestand

N_c wordt gedefinieerd als de drukkracht in het beton. Deze kracht is gelijk aan de oppervlakte van de betondrukzone:

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

Aan de hand van het horizontale evenwicht wordt de betondrukzone berekend:

$$x_u = (A_s * f_{yd}) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 16,68 \text{ mm}$$

Tevens dient het horizontale evenwicht gecontroleerd te worden, zodat aangetoond wordt dat x_u juist berekend is.

$$N_c - N_s = 0 \rightarrow (\alpha * b * f_{cd} * x_u) - (A_s * f_{yd}) = 0$$

$$291540 - 291540 = 0$$

Voldoet, x_u is juist

Vanuit gelijkvormigheid van driehoeken (figuur 1) wordt de rek in het staal (ϵ_s) berekend.

$$\epsilon_s = (\epsilon_{cu3} * (d - x_u)) / x_u$$

$$\epsilon_s = 0,087 \%$$

Vloeigrens betonstaal:

$$0,002175 \%$$

Wapening vloeit

Om tot het bezwijkmoment te komen, dient naast de krachten ook de 'arm' bekend te zijn (figuur x2).

$$y_s = -1/2 * h + d = 182 \text{ mm}$$

$$M_s = N_s * y_s = 53060243,28 \text{ Nmm} = 53,1 \text{ kNm}$$

$$y_c = 1/2 * h - \beta * x_u = 243,4935324 \text{ mm}$$

$$M_c = N_c * y_c = 70988055,31 \text{ Nmm} = 71,0 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 31 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 124 \text{ kNm}$$

$$u.c. = 0,25$$

Voldoet

Controle rotatiecapaciteit x_u/d

Conform NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.1 dient de verhouding x_u/d gecontroleerd te worden.

Deze verhouding is afhankelijk van de cilinder druksterkte (f_{ck})

$$f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2 \quad x_u/d \leq 500 / (500 + f_{yd})$$

$$f_{ck} > 50 \text{ N/mm}^2 \quad x_u/d \leq \epsilon_{cu3} * 10^6 / (\epsilon_{cu3} * 10^6 + 7 * f_{yd})$$

$$x_u/d \leq 0,535$$

$$0,039 \leq 0,535$$

Voldoet

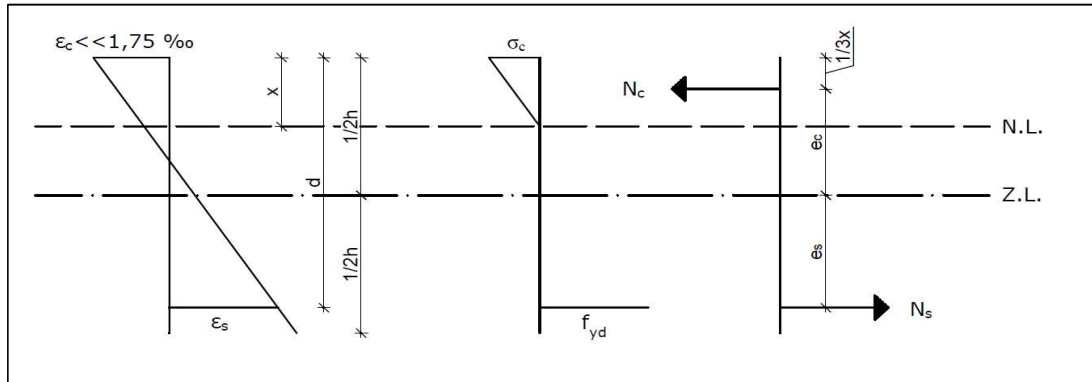
Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$M_{Ed,SLS} = 15,89 \text{ kNm/m}^1$$

De scheurwijdte bedraagt maximaal: $w_k = 0,20 \text{ mm}$

In figuur 2 zijn de spannings-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.



Figuur 2: Horizontaal evenwicht in de bruikbaarheidsgrenstoestand

Door middel van het horizontale evenwicht kunnen de formules voor N_c en N_s opgesteld worden. Hierin worden de volgende formules gebruikt.

$$N_c - N_s = 0$$

$$N_c = \alpha * b * f_{cd} * x_u$$

$$N_s = A_s * f_{yd}$$

De kracht in het staal N_s is:

$$N_s = 291540 \text{ N}$$

De maximale betondrukzone wordt berekend volgens:

$$x_u = (A_s * f_{yd}) / (\alpha * b * f_{cd})$$

$$x_u = 16,68 \text{ mm}$$

De kracht in het beton N_c is:

$$N_c = 291540 \text{ N}$$

Uit het evenwicht volgt dan:

$$N_c - N_s = 0$$

$$291540 - 291540 = 0 \quad \text{Voldoet}$$

Om de optredende staalspanning te berekenen wordt gesteld dat:

$$\sigma_{s,SLS} = M_{SLS} / M_{Rd} * f_{yd}$$

$$M_{SLS} = 15890000 \text{ Nmm}$$

$$M_{Rd} = 124048298,6 \text{ Nmm}$$

De optredende staalspanning is dus:

$$\sigma_{s,freq} = 55,7 \text{ N/mm}^2$$

De optredende kracht in het staal N_s is:

$$N_s = A_s * \sigma_{s,freq}$$

$$N_s = 37345 \text{ N}$$

Door middel van het horizontale momentevenwicht kunnen de formules voor M_c en M_s opgesteld worden. Hierin worden de volgende formules gebruikt:

$$M_s = N_s \cdot e_s$$

$$M_c = N_c \cdot e_c$$

Deze momenten samen moeten gelijk zijn aan $M_{Ed,SLS}$.

$$M_c + M_s = M_{Ed,SLS}$$

In figuur 2 zijn de spanning-rek diagrammen van de bruikbaarheidsgrenstoestand weergegeven.

Hieruit kunnen de afstanden tot de neutrale lijn (e_s en e_c) berekend worden.

$$e_s = 1/2 \cdot h - c - 1/2 \cdot h_w = 182,0 \text{ mm}$$

$$e_c = 1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x$$

x wordt later in de berekening berekend.

De op te lossen vergelijking is als volgt:

$$M_s = N_s \cdot e_s = 6,8 \text{ kNm}$$

Het momentevenwicht geeft:

$$M_c + M_s = M_{Ed,SLS}$$

$$M_c + 6,8 = 15,89 \text{ kNm}$$

$$M_c = 15,89 - 6,8 = 9,1 \text{ kNm}$$

Er wordt door middel van gelijkvormigheid de volgende formule opgesteld:

$$M_c = N_c \cdot (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x) = 9,1 \text{ kNm}$$

$$M_c/N_s = (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x)$$

$$243,5 = (1/2 \cdot h - 1/3 \cdot x)$$

$$1/3 \cdot x = 6,5 \text{ mm}$$

$$x = 19,5 \text{ mm}$$

De staalspanning bedraagt (conform $\sigma_{s,SLS}$):

$$\sigma_{s,SLS} = 55,7 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Trek in het staal, scheurwijdte controleren}$$

De toets op scheurvorming wordt uitgevoerd conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4

$$w_k = s_{rmax} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \text{ NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.8}$$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ wordt berekend volgens onderstaande vergelijking

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9)$$

$$\sigma_s = 55,7 \text{ N/mm}^2$$

$$k_t = 0,4$$

$$f_{ct,eff} = 3,21 \text{ N/mm}^2 \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (2) } f_{ct,eff} = f_{ctm}$$

$$\rho_{p,eff} = A_s/A_{ceff} = 0,004 -$$

$$A_{ceff} = b \cdot h_{ceff} \rightarrow h_{ceff} = 160,2 \text{ mm} \quad \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2 (3)}$$

$$A_{ceff} = 160160,1991 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_e = E_s/E_{cm} = 5,865 -$$

$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$ bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.9:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,000167164$$

Vervolgens wordt s_{rmax} berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - vgl. 7.11

$$s_{rmax} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{peff} \leq \max \{ (50 - 0,8 f_{ck}) \cdot \phi ; 15 \cdot \phi \}$$

Waarbij de volgende waarde gedefinieerd worden:

$$k_1 = 0,8 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4}$$

$$k_2 = 0,5 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4}$$

$$k_3 = 3,4 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4}$$

$$\begin{aligned}
 k_4 &= 0,425 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 7.3.4} \\
 c &= 60 \text{ mm} \\
 \emptyset &= 16 \text{ mm} \\
 \rho_{p,eff} &= 0,004 -
 \end{aligned}$$

$$s_{rmax} = 352 \text{ mm}$$

$$w_k = s_{rmax} * \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,06 \text{ mm}$$

Wanneer de scheurwijdtes zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$k_c = (c_{toegepast} / c_{nom}) \leq 2 = 1,5$$

Echter is vastgesteld dat de maximale scheurwijdte voor heel de constructie op 0,20 mm bedraagt.

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20

De berekende scheurwijdte bedraagt (w_k): 0,06

$$u.c. = 0,29 \quad \text{Voldoet}$$

Minimale wapening

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$\begin{aligned}
 A_{s,min} &= M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast} \\
 A_{s,min} &= 169 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,toe} &\geq A_{s,min} \\
 670,2 &\geq 169 \quad \text{Voldoet}
 \end{aligned}$$

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$\begin{aligned}
 l_{b,rqd} &= 0,25 * \emptyset * (\sigma_{sd} / f_{bd}) \\
 l_{b,rqd} &= 66,04 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waarin: } f_{bd} &= 2,25 * \eta_1 * \eta_2 * f_{ctd} \\
 f_{bd} &= 3,375
 \end{aligned}$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$\begin{aligned}
 0,3 * l_{b,rqd} &= 20 \text{ mm} \\
 10 * \emptyset &= 160 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_{bd} = 160 \text{ mm} = 160,0 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden:

$$\begin{aligned}
 0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} &= 30 \text{ mm} \\
 15 * \emptyset &= 240 \text{ mm} \\
 100 \text{ mm} &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$l_0 = 240 \text{ mm} = 240,0 \text{ mm}$$

6.4 Wapening in wand - Zichtzijde dunne wand

De momentenverdeling in de wanden aan de zichtzijde is dusdanig dat er geen trek optreedt. Derhalve wordt er praktische wapening toegepast op basis van de wapening aan de grondzijde.

Toe te passen wapening

$$\phi_{km,1} = 16 \text{ mm}$$

$$h.o.h. = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Laag} = 1$$

$$A_s = 804 \text{ mm}^2$$

Deze wapening moet nog getoetst worden aan de minimale wapening.

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$A_{s,min} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast}$$

$$M_{E,min} = 134 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{rd} = A_s * f_{yd} * 0,9 d$$

$$M_{rd} = 136 \text{ kNm/m}^1$$

$$A_{s,min} = 791 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,toe} \geq A_{s,min}$$

$$804 \geq 791$$

$$u.c. = 0,98$$

Voldoet

6.5 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dikke wand - Horizontale wapening

De wapening wordt berekend ter plaatse van de grondzijde in de verticale richting, t.p.v. de dikke wand.

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

b	=	1000 mm
h	=	800 mm
c _{toe}	=	60 mm
c _{nom}	=	40 mm
d	=	712 mm

Voor de volledige berekening dient een aanname gedaan te worden, voor de wapening.

ϕ_{km_1}	=	16 mm
h.o.h.	=	125 mm
Laag	=	2
A _s	=	1608 mm ²

De berekende wapening is alleen voor de grondzijde van de wand.

Voor de zichtzijde moet eveneens 1608 mm² met dezelfde wapeningsconfiguratie toegepast worden.

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

f _{ck}	=	35,00 N/mm ²	ε _{c3}	=	1,75 ‰	f _{ck,k}	=	45 N/mm ²
f _{cd}	=	23,30 N/mm ²	ε _{cu3}	=	3,5 ‰			
f _{ctd}	=	1,50 N/mm ²	α	=	0,75 -			
f _{ctm}	=	3,21 N/mm ²	β	=	0,39 -			
f _{cm}	=	43,00 N/mm ²	ρ _{min}	=	0,17 %			
E _{cm}	=	34100 N/mm ²	ρ _{max}	=	1,8 %			

Betonstaal = B500B

f _{yk}	=	500 N/mm ²
f _{yd}	=	435 N/mm ²
E _s	=	2E+05 N/mm ²

Controle minimale wapening

De gekozen wapening moet nog getoetst worden aan de minimale wapening.

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$A_{s,min} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast}$$

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b * h^2 = 133333333,3 \text{ mm}^3$$

$$M_{E,min} = 428 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * 0,9 d$$

$$M_{Rd} = 448 \text{ kNm/m}^1$$

$$A_{s,min} = 1535 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,toe} \geq A_{s,min}$$

$$1608 \geq 1535$$

Voldoet

Berekening rekken

Eerst worden de rekken bij een onvoltooid ontwikkeld scheurpatroon (OOSP) en een voltooid ontwikkeld scheurpatroon (VOSP) berekend.

Het scheurcriterium wordt als volgt bepaald:

$$\sigma_{cr} = k * k_c * f_{ctm}$$

Waarin:

$$k = 1,0 - (1,0 - 0,65) / (800 - 300) * (h - 300) = 0,650 - \text{conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.2}$$

$$k_c = 1,0 = 1,000 - \text{conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.3}$$

$$\sigma_{cr} = 2,087 \text{ N/mm}^2$$

De scheurtrekkkracht wordt berekend:

$$N_{cr} = 1,0 * k * f_{ctm} * h_{c,ef} * b$$

Waarin:

$$h_{c,ef} = \min(2,5 * (c + 1/2 * \varnothing); h/2) = 170 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = 354705 \text{ N}$$

De staalspanning na het scheuren wordt berekend:

$$\sigma_{s,cr} = N_{cr} / A_s = 220,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} > \text{VOSP, kortdurende last: } \varepsilon_{fcd} = ((60 + 2,4 * \sigma_{s,cr}) * 10^{-6}) * 1000 = 0,589 \text{ ‰}$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} > \text{VOSP, langdurige last: } \varepsilon_{fcd}^{\infty} = \gamma^{\infty} * \varepsilon_{fcd} = 0,766 \text{ ‰}$$

Waarin:

$$\gamma^{\infty} = 1,30 -$$

Als laatste toets moet nog blijken dat $\varepsilon_{krimp} \leq \varepsilon_{fcd}$. Dit omdat de constructie alleen al vanwege het uitharden en inkrimpen van het beton veel rekt. De reden dat ε_{fcd} gecontroleerd wordt, is om de aanname van de berekening te verifiëren.

$$\varepsilon_{krimp} \leq \varepsilon_{fcd}$$

$$0,411 \leq 0,589$$

$$u.c. = 0,70$$

Voldoet

Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\text{De scheurwijdte bedraagt maximaal: } w_k = 0,20 \text{ mm}$$

Omdat de scheurwijdtes niet zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} niet zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$\text{De maximale scheurwijdte bedraagt } (w_{max}): 0,20 \text{ mm}$$

De optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte

De optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte wordt berekend als volgt:

$$w_{m0} = 2 * ((0,4 * \varnothing) / (f_{cm,k} * E_s) * \sigma_{scr} * (\sigma_{scr} - \alpha_e * \sigma_{cr}))^{0,85}$$

Waarin:

$$f_{cm,k} = f_{ck,k} + 8 = 53,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_c = 5,87 -$$

$$w_{m0} = 0,09 \text{ mm}$$

Karakteristieke langeduur scheurwijdte

De langeduur scheurwijdte wordt berekend aan de hand van de korteduur scheurwijdte:

$$w_{k\infty} = \gamma_s * \gamma_{\infty} * w_{m0}$$

Waarin:

$$\gamma_s = 1,30$$

$$w_{k\infty} = 0,16 \text{ mm}$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20 mm

De berekende scheurwijdte bedraagt ($w_{k\infty}$): 0,16 mm

$$u.c. = 0,80$$

Voldoet

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd} / f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 261,4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Waarin: } f_{bd} &= 2,25 * h_1 * h_2 * f_{ctd} \\ f_{bd} &= 3,375 \end{aligned}$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 78 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 261,4 \text{ mm} = 265,0 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden:

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 118 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 392 \text{ mm} = 395,0 \text{ mm}$$

6.6 Wapening in wand - Grond- en zichtzijde dunne wand - Horizontale wapening

De wapening wordt berekend ter plaatse van de grondzijde in de verticale richting, t.p.v. de dunne wand.

Vanuit de geometrie worden de volgende relevante waarden opnieuw opgesomd:

b	=	1000 mm
h	=	500 mm
c _{toe}	=	60 mm
c _{nom}	=	40 mm
d	=	416 mm

Voor de volledige berekening dient een aanname gedaan te worden, voor de wapening.

ϕ_{km_1}	=	16 mm
h.o.h.	=	100 mm
Laag	=	2
A _s	=	2011 mm ²

De berekende wapening is alleen voor de grondzijde van de wand.

Voor de zichtzijde moet eveneens 2011 mm² met dezelfde wapeningsconfiguratie toegepast worden.

In het hoofdstuk Invoergegevens worden ook de materiaalgegevens gedefinieerd.

Betonsterkteklasse = C35/45

f _{ck}	=	35,00 N/mm ²	ε _{c3}	=	1,75 ‰	f _{ck,k}	=	45 N/mm ²
f _{cd}	=	23,30 N/mm ²	ε _{cu3}	=	3,5 ‰			
f _{ctd}	=	1,50 N/mm ²	α	=	0,75 -			
f _{ctm}	=	3,21 N/mm ²	β	=	0,39 -			
f _{cm}	=	43,00 N/mm ²	ρ _{min}	=	0,17 %			
E _{cm}	=	34100 N/mm ²	ρ _{max}	=	1,8 %			

Betonstaal = B500B

f _{yk}	=	500 N/mm ²
f _{yd}	=	435 N/mm ²
E _s	=	2E+05 N/mm ²

Controle minimale wapening

De gekozen wapening moet nog getoetst worden aan de minimale wapening.

Vanuit het scheurmoment bedraagt de minimale wapening:

$$A_{s,min} = M_{E,min} / M_{Rd} * A_{s,toegepast}$$

$$M_{E,min} = f_{ctm} * W$$

Waarbij:

$$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 1/6 * b * h^2 = 8333333,33 \text{ mm}^3$$

$$M_{E,min} = 268 \text{ kNm/m}^1$$

$$M_{Rd} = A_s * f_{yd} * 0,9 d$$

$$M_{Rd} = 327 \text{ kNm/m}^1$$

$$A_{s,min} = 1642 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,toe} \geq A_{s,min}$$

$$2011 \geq 1642$$

Voldoet

Berekening rekken

Eerst worden de rekken bij een onvoltooid ontwikkeld scheurpatroon (OOSP) en een voltooid ontwikkeld scheurpatroon (VOSP) berekend.

Het scheurcriterium wordt als volgt bepaald:

$$\sigma_{cr} = k * k_c * f_{ctm}$$

Waarin:

$$k = 1,0 - (1,0 - 0,65) / (800 - 300) * (h - 300) = 0,860 - \text{conform NEN-1992-1-1 - art. 7.3.2}$$

$$k_c = 1,0 = 1,000 - \text{conform NEN-1992-1-1 - art. 7.3.3}$$

$$\sigma_{cr} = 2,761 \text{ N/mm}^2$$

De scheurtrekkracht wordt berekend:

$$N_{cr} = 1,0 * k * f_{ctm} * h_{c,ef} * b$$

Waarin:

$$h_{c,ef} = \min(2,5 * (c + 1/2 * \varnothing); h/2) = 170 \text{ mm}$$

$$N_{cr} = 469302 \text{ N}$$

De staalspanning na het scheuren wordt berekend:

$$\sigma_{s,cr} = N_{cr} / A_s = 233,4 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} > \text{VOSP, kortdurende last: } \varepsilon_{fcd} = ((60 + 2,4 * \sigma_{s,cr}) * 10^{-6}) * 1000 = 0,620 \text{ ‰}$$

$$\text{Rek waarbij OOSP} > \text{VOSP, langdurige last: } \varepsilon_{fcd}^{\infty} = \gamma^{\infty} * \varepsilon_{fcd} = 0,806 \text{ ‰}$$

Waarin:

$$\gamma^{\infty} = 1,30 -$$

Als laatste toets moet nog blijken dat $\varepsilon_{krimp} \leq \varepsilon_{fcd}$. Dit omdat de constructie alleen al vanwege het uitharden en inkrimpen van het beton veel rekt. De reden dat ε_{fcd} gecontroleerd wordt, is om de aanname van de berekening te verifiëren.

$$\varepsilon_{krimp} \leq \varepsilon_{fcd}$$

$$0,411 \leq 0,620$$

$$u.c. = 0,66$$

Voldoet

Controle scheurwijdte

De scheurwijdte dient gecontroleerd te worden in de SLS.

$$\text{De scheurwijdte bedraagt maximaal: } w_k = 0,2 \text{ mm}$$

Omdat de scheurwijdtes niet zijn berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 7.3.4 mogen de waarden voor w_{max} niet zijn vermenigvuldigd met een factor k_c

$$\text{De maximale scheurwijdte bedraagt } (w_{max}): 0,20 \text{ mm}$$

De optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte

De optredende gemiddelde korteduur scheurwijdte wordt berekend als volgt:

$$w_{m0} = 2 * ((0,4 * \varnothing) / (f_{cm,k} * E_s) * \sigma_{scr} * (\sigma_{scr} - \alpha_e * \sigma_{cr}))^{0,85}$$

Waarin:

$$f_{cm,k} = f_{ck,k} + 8 = 53,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = E_s / E_c = 5,87 -$$

$$w_{m0} = 0,10 \text{ mm}$$

Karakteristieke langeduur scheurwijdte

De langeduur scheurwijdte wordt berekend aan de hand van de korteduur scheurwijdte:

$$w_{k\infty} = \gamma_s * \gamma_{\infty} * w_{m0}$$

Waarin:

$$\gamma_s = 1,30$$

$$w_{k\infty} = 0,17 \text{ mm}$$

De maximale scheurwijdte bedraagt (w_{max}): 0,20 mm

De berekende scheurwijdte bedraagt ($w_{k\infty}$): 0,17 mm

$$u.c. = 0,87$$

Voldoet

Verankeringslengte

De basisverankeringslengte dient conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4.3 berekend te worden.

$$l_{b,rqd} = 0,25 * \phi * (\sigma_{sd}/f_{bd})$$

$$l_{b,rqd} = 276,6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Waarin: } f_{bd} &= 2,25 * h_1 * h_2 * f_{ctd} \\ f_{bd} &= 3,375 \end{aligned}$$

De verankeringslengte bedraagt voor een op trek belaste wapeningsstaaf: (NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.4)

$$l_{bd} = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * l_{b,rqd} \geq l_{bmin}$$

De minimale verankeringslengte bedraagt de maximale waarde van onderstaande:

$$0,3 * l_{b,rqd} = 83 \text{ mm}$$

$$10 * \phi = 160 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 276,6 \text{ mm} = 280,0 \text{ mm}$$

Overlappingslengte

De overlappingslengte l_0 wordt berekend conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 8.7.3

$$l_0 = \alpha_1 * \alpha_2 * \alpha_3 * \alpha_4 * \alpha_5 * \alpha_6 * l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

De minimale laslengte $l_{0,min}$ bedraagt het maximale van onderstaande waarden:

$$0,3 * \alpha_6 * l_{b,rqd} = 124 \text{ mm}$$

$$15 * \phi = 240 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} = 100 \text{ mm}$$

$$l_0 = 415 \text{ mm} = 415,0 \text{ mm}$$

6.7 Dwarskracht in de wand - Dikke wand

De dwarskracht in de vloer dient gecontroleerd te worden aan de dwarskrachtweerstand V_{Rdc} , ook dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Ook wordt de normaalkracht meegenomen in de berekening.

$$V_{Ed} = 301 \text{ kN/m}^1$$

Vanuit de berekening van de hoofdwapening, worden een aantal gegevens weergegeven.

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 800 \text{ mm} \\ d &= 730 \text{ mm} \\ A_s &= 3142 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \\ \rho_l &= 0,004 - \\ f_{ck} &= 35,0 \text{ N/mm}^2 \\ f_{cd} &= 23,3 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

De volgende waarden worden gedefinieerd (NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2).

$$\begin{aligned} C_{rdc} &= 0,12 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ k &= 1,523 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2 (1)} \\ v_1 &= 0,516 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ \alpha_{cw} &= 1,0 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - vgl 6.11.aN} \end{aligned}$$

De dwarskrachtweerstand bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2:

$$V_{Rdc} = [C_{rdc} * k(100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3}] * b_w * d \geq (0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}) * b_w * d$$

$$V_{Rdc} = 329577 \text{ N} = 329,6 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,91 \quad \text{Voldoet, geen dwarskrachtwapening nodig (onderstaande paragraaf overslaan)}$$

Dwarskrachtwapening benodigd

Deze paragraaf dient alleen doorlopen te worden, wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden door het beton.

Wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden, dient de gehele dwarskracht opgenomen te worden door middel van beugels.

Voor de berekening van de dwarskrachtwapening dient de hoek van de drukdiagonaal van het beton en de as van de ligger loodrecht op de dwarskracht bekend te zijn. Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 (2) bevindt deze hoek (θ) zich tussen $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$A_{sw}/s_w = V_{Ed} / (0,9d * f_{yd} * \cot \theta * b)$$

$$A_{sw}/s_w = 422 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dwarskrachtwapening niet benodigd}$$

$$\text{Keuze: } \emptyset 8 - 225 = 447 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dubelsnedig}$$

$$u.c. = 0,94 \quad \text{Voldoet}$$

Controle drukdiagonaal

Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Dit voorkomt dat er teveel wapening gekozen wordt, waardoor het beton bezwijkt op druk.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * 0,9d * v_1 * f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$V_{Rd,max} = 2723645 \text{ N} = 2724 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,11 \quad \text{Geometrie voldoet}$$

6.8 Dwarskracht in de wand - Dunne wand

De dwarskracht in de vloer dient gecontroleerd te worden aan de dwarskrachtweerstand V_{Rdc} , ook dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Ook wordt de normaalkracht meegenomen in de berekening.

$$V_{Ed} = 65 \text{ kN/m}^1$$

Vanuit de berekening van de hoofdwapening, worden een aantal gegevens weergegeven.

$$\begin{aligned} b &= 1000 \text{ mm} \\ h &= 500 \text{ mm} \\ d &= 432 \text{ mm} \\ A_s &= 670,2 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \\ \rho_l &= 0,002 - \\ f_{ck} &= 35,0 \text{ N/mm}^2 \\ f_{cd} &= 23,3 \text{ N/mm}^2 \\ f_{yd} &= 435 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

De volgende waarden worden gedefinieerd (NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2).

$$\begin{aligned} C_{rdc} &= 0,12 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ k &= 1,68 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2 (1)} \\ v_1 &= 0,516 - \text{NEN-EN 1992-1-1/NB - art. 6.2.2 (1)} \\ \alpha_{cw} &= 1,0 - \text{NEN-EN 1992-1-1 - vgl 6.11.aN} \end{aligned}$$

De dwarskrachtweerstand bedraagt conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.2:

$$V_{Rdc} = [C_{rdc} * k (100 * \rho_l * f_{ck})^{1/3}] * b_w * d \geq (0,035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}) * b_w * d$$

$$V_{Rdc} = 194854 \text{ N} = 194,9 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,34 \quad \text{Voldoet, geen dwarskrachtwapening nodig (onderstaande paragraaf overslaan)}$$

Dwarskrachtwapening benodigd

Deze paragraaf dient alleen doorlopen te worden, wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden door het beton.

Wanneer de dwarskracht niet opgenomen kan worden, dient de gehele dwarskracht opgenomen te worden door middel van beugels.

Voor de berekening van de dwarskrachtwapening dient de hoek van de drukdiagonaal van het beton en de as van de ligger loodrecht op de dwarskracht bekend te zijn. Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 (2) bevindt deze hoek (θ) zich tussen $1 \leq \cot \theta \leq 2,5$

$$\theta = 21,8^\circ$$

$$A_{sw}/s_w = V_{Ed} / (0,9d * f_{yd} * \cot \theta * b)$$

$$A_{sw}/s_w = 155 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dwarskrachtwapening niet benodigd}$$

$$\text{Keuze: } \emptyset 8 - 300 = 335 \text{ mm}^2/\text{m}^1 \quad \text{Dubbelsnedig}$$

$$u.c. = 0,46 \quad \text{Voldoet}$$

Controle drukdiagonaal

Conform NEN-EN 1992-1-1 - art. 6.2.3 dient de drukdiagonaal gecontroleerd te worden. Dit voorkomt dat er teveel wapening gekozen wordt, waardoor het beton bezwijkt op druk.

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} * b_w * 0,9d * v_1 * f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta)$$

$$V_{Rd,max} = 1611801 \text{ N} = 1612 \text{ kN}$$

$$u.c. = 0,04 \quad \text{Geometrie voldoet}$$

7 Opdrijven

Het opdrijven dient gecontroleerd te worden aan de hand van NEN 9997-1 - art. 2.4.7.4

Hierin dient de aandrijvende belasting lager te zijn dan de rustende belasting.

$$\gamma_{Gdst} * G_{dst,d} + \gamma_{Qdst} * Q_{dst,d} \leq \gamma_{gunstig} * (G_{stb,d} + R_k)$$

Waarin:

$G_{dst,d}$	=	Permanente aandrijvende belasting (GLG - o.k. vloer) * γ_{water} * B_{vloer}
$Q_{dst,d}$	=	Variabele aandrijvende belasting (GHG - GLG) * γ_{water} * B_{vloer}
$G_{stb,d}$	=	Rustende belasting ($A_{constructie} * \gamma_{beton}$)
R_k	=	Rustende belasting vanuit grondmassief op eventueel aanwezige oren
γ_{Gdst}	=	1,0 - Conform NEN 9997-1 - Tabel A.4
γ_{Qdst}	=	1,0 - Conform NEN 9997-1 - Tabel A.4
$\gamma_{gunstig}$	=	0,9 - Conform NEN 9997-1 - Tabel A.4

$G_{dst,d}$	=	189	kN
$Q_{dst,d}$	=	126	kN
$G_{stb,d}$	=	377	kN
R_k	=	0	kN

Aandrijvende belasting = 315 kN

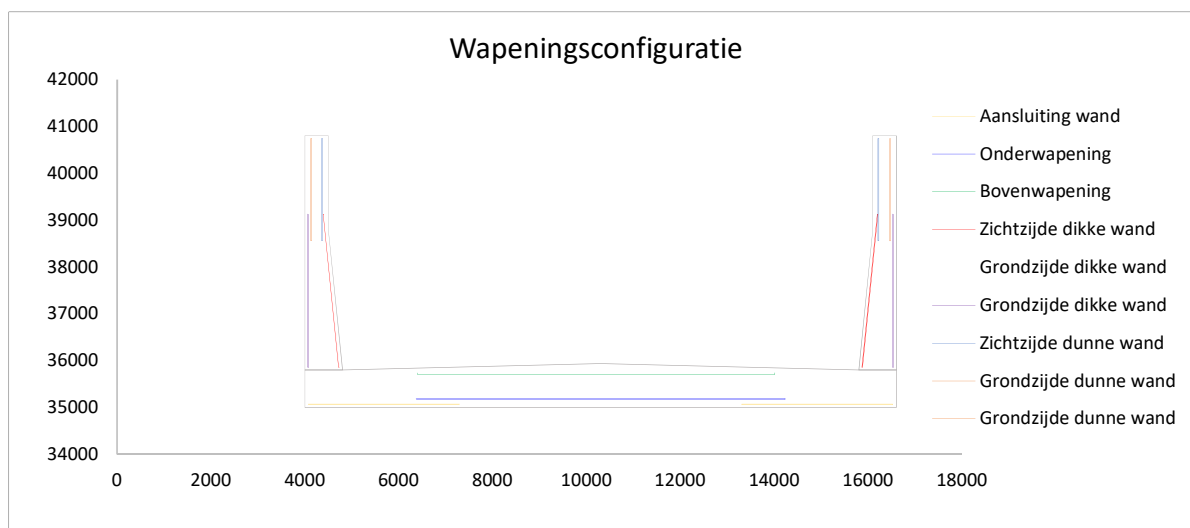
Rustende belasting = 377 kN

u.c. = 0,84 Voldoet

8 Wapeningsresume

In hoofdstuk 5 en 6 is de gehele wapening voor de constructie bepaald. Om de berekende wapening overzichtelijk weergegeven is een wapeningsresumé opgesteld in tabel 8.1. Hierin zijn ook de unity-checks weergegeven.

		Wapening			c _{toe}	ULS	SLS	min. wap.	Correcte berekening	
		Ø	-	h.o.h.	mm	u.c.	u.c.	mm		
Dwarsrichting										
Constructievloer										
Onderzijde	Veld	16	-	150	60	0,93	0,98	0,88	Voldoet	✓
Onderzijde	Aansluiting	16	-	75	60	0,76	0,83	0,40	Voldoet	✓
Bovenzijde	Veld	32	-	150	60	0,02	0,19	0,94	Voldoet	✓
Constructiewanden										
Grondzijde	dikke wand	20	-	100	60	0,62	0,86	0,62	Voldoet	✓
Grondzijde	dunne wand	16	-	300	60	0,25	0,29	0,25	Voldoet	✓
Zichtzijde	dikke wand	16	-	150	60	0,89		0,89	Voldoet	✓
Zichtzijde	dunne wand	16	-	250	60	0,98		0,98	Voldoet	✓
Lengterichting										
Constructievloer										
Onderzijde	Veld	16	-	125	60	0,32	0,98	0,70	Voldoet	✓
Bovenzijde	Veld	16	-	125	60	0,31	0,85	0,78	Voldoet	✓
Constructiewanden										
Gr/Zi	dikke wand	16	-	125	60		0,80	0,95	Voldoet	✓
Gr/Zi	dunne wand	16	-	100	60		0,87	0,82	Voldoet	✓
Dwarskracht										
Vloer		0	-	0		0,38			Voldoet	✓
Wand	dikke wand	0	-	0		0,91			Voldoet	✓
Wand	dunne wand	0	-	0		0,34			Voldoet	✓



Praktische wapening, beugels en haarspelden zijn niet weergegeven in deze wapeningsconfiguratie.

Hoeveelheid wapening

 Volumieke gewicht wapeningsstaal 7850 kg/m³

Constructievloer

	Hoeveelheid			A _s	L _{staaf}	kg _{wap}	L _{moot}	kg _{staal}
				[mm/m]	[m]	[kg/m]	[m]	[kg]
Dwarswapening								
Onderzijde	16	-	150	1340	7,0	74	25	1841
Bijleg	0	-	0	0	0,0	0	25	0
Aansluiting	16	-	75	2681	2,8	59	25	1473
Aansluiting	16	-	75	2681	2,8	59	25	1473
Bovenzijde	32	-	150	5362	7,0	295	25	7366
Bijleg	16	-	150	1340	4,0	42	25	1052
Haarspelden	16	-	150	1340	3,3	34	25	858
Langswapening								
Onderzijde	16	-	125	1608	25	316	12,6	3977
Bovenzijde	16	-	125	1608	25	316	12,6	3977
Beugels	0	-	0			0	25	0

 Wapening B500B 22018 kg
 Volume beton C35/45 289,7 m³

 kg/m³ wapening 76,0 kg/m³

Wanden

	Hoeveelheid			A _s	L _{staaf}	kg _{wap}	L _{moot}	kg _{staal}
				[mm/m]	[m]	[kg/m]	[m]	[kg]
Dwarswapening								
Grondzijde dikke	20	-	100	3142	4,13	102	25	2x 5093
Zichtzijde dikke	16	-	150	1340	4,13	43	25	2x 2173
Grondzijde dunne	16	-	300	670	2,2	11	25	2x 568
Zichtzijde dunne	16	-	250	804,2	2,2	14	25	2x 682
Haarspelden	16	-	250	804,2	1,0	6	25	2x 309
Langswapening								
Grond & zicht (dik)	16	-	125	3217	25	631	3	2x 3788
Grond & zicht (dun)	16	-	100	4021	25	789	2	2x 3157
Beugels								
Dikke wand	0	-	0	#####		0	25	2x 0
Dunne wand	0	-	0	#####		0	25	2x 0

 Wapening B500B 15770 kg
 Volume beton C35/45 147,5 m³

 kg/m³ wapening 106,9 kg/m³

Totale wapening

 Wapening B500B 37787 kg
 Volume beton C35/45 437,2 m³

 kg/m³ wapening 86,4 kg/m³

ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage F2

SCIA Engineer berekeningsrapportage





Project Benchmark open moten**1. Inhoudsopgave**

1. Inhoudsopgave	1
2. Knopen	3
3. Staven	3
4. Variabele doorsneden	4
5. Lijnondersteuning op staven	4
6. Doorsneden	5
7. Materialen	9
8. Belastingsgevallen	10
9. Belastinggroepen	11
10. Combinaties	12
11. Resultaatklassen	31
12. Belastingsgevallen	33
12.1. Belastingsgevallen - BG1	33
12.1.1. Visualisatie belastinggeval	33
12.2. Belastingsgevallen - BG2a	34
12.2.1. Visualisatie belastinggeval	34
12.2.2. Lijnlast	34
12.3. Belastingsgevallen - BG2b	35
12.3.1. Visualisatie belastinggeval	35
12.3.2. Puntlast op staaf	35
12.3.3. Lijnlast	35
12.4. Belastingsgevallen - BG2c	36
12.4.1. Visualisatie belastinggeval	36
12.4.2. Lijnlast	36
12.5. Belastingsgevallen - BG3	37
12.5.1. Visualisatie belastinggeval	37
12.6. Belastingsgevallen - BG4a	38
12.6.1. Visualisatie belastinggeval	38
12.7. Belastingsgevallen - BG4b	39
12.7.1. Visualisatie belastinggeval	39
12.8. Belastingsgevallen - BG5a	40
12.8.1. Visualisatie belastinggeval	40
12.9. Belastingsgevallen - BG5b	41
12.9.1. Visualisatie belastinggeval	41
12.10. Belastingsgevallen - BG6a	42
12.10.1. Visualisatie belastinggeval	42
12.10.2. Lijnlast	42
12.11. Belastingsgevallen - BG6b	43
12.11.1. Visualisatie belastinggeval	43
12.11.2. Lijnlast	43
12.12. Belastingsgevallen - BG7a	45
12.12.1. Visualisatie belastinggeval	45
12.12.2. Lijnlast	45
12.13. Belastingsgevallen - BG7b	46
12.13.1. Visualisatie belastinggeval	46
12.13.2. Lijnlast	46
12.14. Belastingsgevallen - BG8	47
12.14.1. Visualisatie belastinggeval	47
12.14.2. Thermische belasting	47
12.15. Belastingsgevallen - BG9a	49
12.15.1. Visualisatie belastinggeval	49
12.15.2. Lijnlast	49
12.16. Belastingsgevallen - BG9b	50
12.16.1. Visualisatie belastinggeval	50
12.16.2. Lijnlast	50
12.17. Belastingsgevallen - BG12	51
12.17.1. Visualisatie belastinggeval	51
12.17.2. Lijnlast	51
12.18. Belastingsgevallen - BG13	52
12.18.1. Visualisatie belastinggeval	52
12.19. Belastingsgevallen - BG15a	53
12.19.1. Visualisatie belastinggeval	53
12.19.2. Thermische belasting	53

Project Benchmark open moten

12.20. Belastingsgevallen - BG15b	55
12.20.1. Visualisatie belastinggeval	55
12.20.2. Thermische belasting	55
12.21. Belastingsgevallen - BG15c	57
12.21.1. Visualisatie belastinggeval	57
12.21.2. Thermische belasting	57
12.22. Belastingsgevallen - BG15d	59
12.22.1. Visualisatie belastinggeval	59
12.22.2. Thermische belasting	59
12.23. Belastingsgevallen - BG16a	61
12.23.1. Visualisatie belastinggeval	61
12.23.2. Lijnlast	61
12.24. Belastingsgevallen - BG16b	62
12.24.1. Visualisatie belastinggeval	62
12.24.2. Lijnlast	62
12.25. Belastingsgevallen - BG17a	63
12.25.1. Visualisatie belastinggeval	63
12.25.2. Lijnlast	63
12.26. Belastingsgevallen - BG17b	64
12.26.1. Visualisatie belastinggeval	64
12.26.2. Lijnlast	64
12.27. Belastingsgevallen - BG17c	65
12.27.1. Visualisatie belastinggeval	65
12.27.2. Lijnlast	65
12.28. Belastingsgevallen - BG17d	67
12.28.1. Visualisatie belastinggeval	67
12.28.2. Lijnlast	67
12.29. Belastingsgevallen - BG17e	69
12.29.1. Visualisatie belastinggeval	69
12.29.2. Lijnlast	69
13. Resultaatklassen	70
13.1. Resultaatklassen - RC1_ULS_CC2	70
13.1.1. Interne krachten in staaf; My	70
13.1.2. Interne krachten in staaf; Vz	71
13.1.3. Interne krachten in staaf; N	71
13.1.4. Interne krachten in staaf	72
13.2. Resultaatklassen - RC2_ULS_CC3	73
13.2.1. Interne krachten in staaf; My	73
13.2.2. Interne krachten in staaf; Vz	74
13.2.3. Interne krachten in staaf; N	74
13.2.4. Interne krachten in staaf	75
13.3. Resultaatklassen - RC3_SLS_KAR	76
13.3.1. Interne krachten in staaf; My	76
13.3.2. Interne krachten in staaf; Vz	77
13.3.3. Interne krachten in staaf; N	77
13.3.4. Interne krachten in staaf	78
13.4. Resultaatklassen - RC4_SLS_FRE	79
13.4.1. Interne krachten in staaf; My	79
13.4.2. Interne krachten in staaf; Vz	80
13.4.3. Interne krachten in staaf; N	80
13.4.4. Interne krachten in staaf	81

Project Benchmark open moten

2. Knopen

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Z [m]
K1	-6.300	0.000
K2	-6.050	0.000
K3	-5.500	0.000
K4	5.500	0.000

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Z [m]
K5	6.050	0.000
K6	6.300	0.000
K7	-6.050	0.400
K8	-6.050	5.400

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Z [m]
K9	6.050	0.400
K10	6.050	5.400

3. Staven

Naam	Doorsnede	Materiaal	Lengte [m]	Beginknoop	Eindknoop	Type
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_cracked	11.000	K3	K4	Algemeen (0)
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff	0.550	K2	K3	Algemeen (0)
S3	CS3_slab_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff	0.550	K4	K5	Algemeen (0)
S4	CS3_slab_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff	0.250	K1	K2	Algemeen (0)
S5	CS3_slab_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff	0.250	K5	K6	Algemeen (0)
S6	CS6_wall_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff_nomass	0.400	K2	K7	Algemeen (0)
S7	CS6_wall_stiff - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_stiff_nomass	0.400	K5	K9	Algemeen (0)
S8	CS5_wall_cracked - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_cracked	5.000	K7	K8	Algemeen (0)
S9	CS5_wall_cracked - Rechthoek (800; 1000)	C35/45_cracked	5.000	K9	K10	Algemeen (0)

Project Benchmark open moten

4. Variabele doorsneden

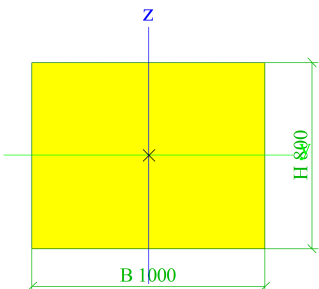
VP			
Staaf	S1		
Coör	Rela		
lengte 1, Css1(1), Css2(1)	0.500	CS1_slab_cracked - Rechthoek (800; 1000)	CS2_slab_cracked - Rechthoek (937; 1000)
lengte 2, Css1(2), Css2(2)	0.500	CS2_slab_cracked - Rechthoek (937; 1000)	CS1_slab_cracked - Rechthoek (800; 1000)
VP1			
Staaf	S8		
Coör	Rela		
lengte 1, Css1(1), Css2(1)	0.600	CS5_wall_cracked - Rechthoek (800; 1000)	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)
lengte 2, Css1(2), Css2(2)	0.400	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)
VP2			
Staaf	S9		
Coör	Rela		
lengte 1, Css1(1), Css2(1)	0.600	CS5_wall_cracked - Rechthoek (800; 1000)	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)
lengte 2, Css1(2), Css2(2)	0.400	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)	CS4_wall_cracked - Rechthoek (500; 1000)

5. Lijnondersteuning op staven

Naam	Type	Staaf Systeem	Pos x_1 Pos x_2	Coör Oors	X	Stijfheid X [MN/m ²]	Z	Stijfheid Z [MN/m ²]	Ry
Slb1	Lijn	S1	0.000	Rela	Verend	1.0000e+00	Verend	1.0000e+01	Vrij
		LCS	1.000	Vanaf begin					
Slb2	Lijn	S2	0.000	Rela	Verend	1.0000e+00	Verend	1.0000e+01	Vrij
		LCS	1.000	Vanaf begin					
Slb3	Lijn	S3	0.000	Rela	Verend	1.0000e+00	Verend	1.0000e+01	Vrij
		LCS	1.000	Vanaf begin					
Slb4	Lijn	S4	0.000	Rela	Verend	1.0000e+00	Verend	1.0000e+01	Vrij
		LCS	1.000	Vanaf begin					
Slb5	Lijn	S5	0.000	Rela	Verend	1.0000e+00	Verend	1.0000e+01	Vrij
		LCS	1.000	Vanaf begin					

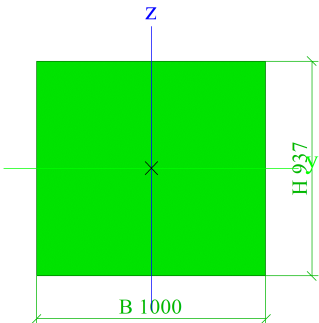
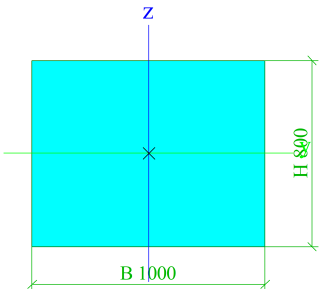
Project Benchmark open moten

6. Doorsneden

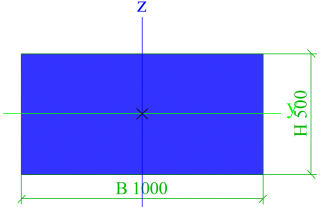
CS1_slab_cracked		
Type	Rechthoek	
Uitgebreid	800; 1000	
Vorm type	Dikke wanden	
Onderdeelmateriaal	C35/45_cracked	
Bouwwijze	beton	
Kleur		
A [m²]	8.0000e-01	
A _y [m²], A _z [m²]	6.6667e-01	6.6667e-01
A _L [m²/m], A _D [m²/m]	3.6000e+00	3.6000e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	500	400
α [deg]	0.00	
I _y [m⁴], I _z [m⁴]	4.2667e-02	6.6667e-02
i _y [mm], i _z [mm]	231	289
W _{el,y} [m³], W _{el,z} [m³]	1.0667e-01	1.3333e-01
W _{pl,y} [m³], W _{pl,z} [m³]	0.0000e+00	0.0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m⁴], I _w [m⁶]	8.7975e-02	0.0000e+00
β _y [mm], β _z [mm]	0	0
Afbeelding		

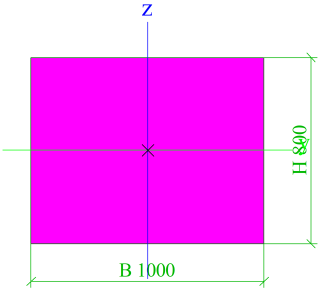
CS2_slab_cracked		
Type	Rechthoek	
Uitgebreid	937; 1000	
Vorm type	Dikke wanden	
Onderdeelmateriaal	C35/45_cracked	
Bouwwijze	beton	
Kleur		
A [m²]	9.3700e-01	
A _y [m²], A _z [m²]	7.8083e-01	7.8083e-01
A _L [m²/m], A _D [m²/m]	3.8740e+00	3.8740e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	500	469
α [deg]	0.00	
I _y [m⁴], I _z [m⁴]	6.8555e-02	7.8083e-02
i _y [mm], i _z [mm]	270	289
W _{el,y} [m³], W _{el,z} [m³]	1.4633e-01	1.5617e-01
W _{pl,y} [m³], W _{pl,z} [m³]	0.0000e+00	0.0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
d _y [mm], d _z [mm]	0	0
I _t [m⁴], I _w [m⁶]	1.2329e-01	0.0000e+00
β _y [mm], β _z [mm]	0	0

Project Benchmark open moten

Afbeelding			
CS3_slab_stiff			
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	800; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C35/45_stiff		
Bouwwijze	beton		
Kleur			
A [m²]	8.0000e-01		
A _y [m²], A _z [m²]	6.6667e-01		6.6667e-01
A _L [m²/m], A _D [m²/m]	3.6000e+00		3.6000e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	500		400
α [deg]	0.00		
I _y [m⁴], I _z [m⁴]	4.2667e-02		6.6667e-02
i _y [mm], i _z [mm]	231		289
W _{el,y} [m³], W _{el,z} [m³]	1.0667e-01		1.3333e-01
W _{pl,y} [m³], W _{pl,z} [m³]	0.0000e+00		0.0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0.00e+00		0.00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0.00e+00		0.00e+00
d _y [mm], d _z [mm]	0		0
I _t [m⁴], I _w [m⁶]	8.7975e-02		0.0000e+00
β _y [mm], β _z [mm]	0		0
Afbeelding			
CS4_wall_cracked			
Type	Rechthoek		
Uitgebreid	500; 1000		
Vorm type	Dikke wanden		
Onderdeelmateriaal	C35/45_cracked		
Bouwwijze	beton		
Kleur			
A [m²]	5.0000e-01		
A _y [m²], A _z [m²]	4.1667e-01		4.1667e-01
A _L [m²/m], A _D [m²/m]	3.0000e+00		3.0000e+00
C _{y,UCS} [mm], C _{z,UCS} [mm]	500		250
α [deg]	0.00		
I _y [m⁴], I _z [m⁴]	1.0417e-02		4.1667e-02
i _y [mm], i _z [mm]	144		289
W _{el,y} [m³], W _{el,z} [m³]	4.1667e-02		8.3333e-02
W _{pl,y} [m³], W _{pl,z} [m³]	0.0000e+00		0.0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0.00e+00		0.00e+00

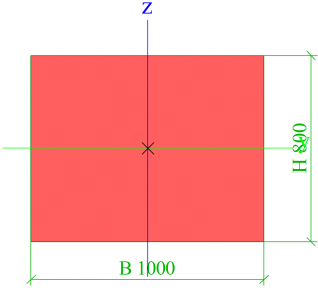
Project Benchmark open moten

$M_{pl,z,+}$ [Nm], $M_{pl,z,-}$ [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
d_y [mm], d_z [mm]	0	0
I_t [m ⁴], I_w [m ⁶]	2.8591e-02	0.0000e+00
β_y [mm], β_z [mm]	0	0
Afbeelding		

CS5_wall_cracked		
Type	Rechthoek	
Uitgebreid	800; 1000	
Vorm type	Dikke wanden	
Onderdeelmateriaal	C35/45_cracked	
Bouwwijze	beton	
Kleur		
A [m ²]	8.0000e-01	
A_y [m ²], A_z [m ²]	6.6667e-01	6.6667e-01
A_t [m ² /m], A_o [m ² /m]	3.6000e+00	3.6000e+00
$C_{y,UCS}$ [mm], $C_{z,UCS}$ [mm]	500	400
α [deg]	0.00	
I_y [m ⁴], I_z [m ⁴]	4.2667e-02	6.6667e-02
i_y [mm], i_z [mm]	231	289
$W_{el,y}$ [m ³], $W_{el,z}$ [m ³]	1.0667e-01	1.3333e-01
$W_{pl,y}$ [m ³], $W_{pl,z}$ [m ³]	0.0000e+00	0.0000e+00
$M_{pl,y,+}$ [Nm], $M_{pl,y,-}$ [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
$M_{pl,z,+}$ [Nm], $M_{pl,z,-}$ [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
d_y [mm], d_z [mm]	0	0
I_t [m ⁴], I_w [m ⁶]	8.7975e-02	0.0000e+00
β_y [mm], β_z [mm]	0	0
Afbeelding		

CS6_wall_stiff		
Type	Rechthoek	
Uitgebreid	800; 1000	
Vorm type	Dikke wanden	
Onderdeelmateriaal	C35/45_stiff_nomass	
Bouwwijze	beton	
Kleur		
A [m ²]	8.0000e-01	
A_y [m ²], A_z [m ²]	6.6667e-01	6.6667e-01
A_t [m ² /m], A_o [m ² /m]	3.6000e+00	3.6000e+00
$C_{y,UCS}$ [mm], $C_{z,UCS}$ [mm]	500	400
α [deg]	0.00	
I_y [m ⁴], I_z [m ⁴]	4.2667e-02	6.6667e-02
i_y [mm], i_z [mm]	231	289
$W_{el,y}$ [m ³], $W_{el,z}$ [m ³]	1.0667e-01	1.3333e-01
$W_{pl,y}$ [m ³], $W_{pl,z}$ [m ³]	0.0000e+00	0.0000e+00
$M_{pl,y,+}$ [Nm], $M_{pl,y,-}$ [Nm]	0.00e+00	0.00e+00
$M_{pl,z,+}$ [Nm], $M_{pl,z,-}$ [Nm]	0.00e+00	0.00e+00

Project Benchmark open moten

d_y [mm], d_z [mm]	0	0
I_t [m ⁴], I_w [m ⁶]	8.7975e-02	0.0000e+00
β_y [mm], β_z [mm]	0	0
Afbeelding		

Verklaring van symbolen	
A	Gebied
A_y	Afschuifoppervlak in hoofd y-richting
A_z	Afschuifoppervlak in hoofd z-richting
A_L	Omtrek per eenheidslengte
A_D	Uithardingsoppervlakte per eenheidslengte
$C_{y,UCS}$	Zwaartepunt coördinaten in Y-richting van het invoer assen systeem
$C_{z,UCS}$	Zwaartepunt coördinaten in Z-richting van het invoer assen systeem
$I_{Y,LCS}$	Tweede moment van het gebied rond de YLCS as
$I_{Z,LCS}$	Tweede moment van het gebied rond de ZLCS as
$I_{YZ,LCS}$	Product moment van het gebied in het LCS systeem
α	Rotatiehoek van het hoofd assen systeem
I_y	Tweede moment van het gebied rond de hoofd y-as
I_z	Tweede moment van het gebied rond de hoofd z-as
i_y	Traagheidsstraal rond de hoofd y-as
i_z	Traagheidsstraal rond de hoofd z-as

Verklaring van symbolen	
$W_{el,y}$	Elastische doorsnede modulus rond de hoofd y-as
$W_{el,z}$	Elastische doorsnede modulus rond de hoofd z-as
$W_{pl,y}$	Plastische doorsnede modulus rond de hoofd y-as
$W_{pl,z}$	Plastische doorsnede modulus rond de hoofd z-as
$M_{pl,y,+}$	Plastisch moment rond de hoofd y-as voor een positief My moment
$M_{pl,y,-}$	Plastisch moment rond de hoofd y-as voor een negatief My moment
$M_{pl,z,+}$	Plastisch moment rond de hoofd z-as voor een positief Mz moment
$M_{pl,z,-}$	Plastisch moment rond de hoofd z-as voor een negatief Mz moment
d_y	Afschuif middencoördinaat in hoofd y-richting gemeten vanaf het zwaartepunt - Niet berekend of vereenvoudigd
d_z	Afschuif middencoördinaat in hoofd z-richting gemeten vanaf het zwaartepunt - Niet berekend of vereenvoudigd
I_t	Torsie constante - Niet berekend of vereenvoudigd
I_w	Welvings constante - Niet berekend of vereenvoudigd
β_y	Mono-symmetrische constante rond de hoofd y-as
β_z	Mono-symmetrische constante rond de hoofd z-as

Project Benchmark open moten

7. Materialen

Naam	Type	ρ [kg/m ³]	Dichtheid in natte toestand [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]	Kleur
C35/45_cracked	Beton	2500.0	2600.0	1.7050e+04	0.2	0.00	35.00	■
C35/45_stiff	Beton	2500.0	2600.0	3.4100e+05	0.2	0.00	35.00	■
C35/45_stiff_nomass	Beton	0.0	2600.0	3.4100e+05	0.2	0.00	35.00	■

Verklaring van symbolen

Dichtheid in natte toestand	De waarde van de dichtheid van het kenmerk nieuwe toestand wordt alleen gebruikt als een samengesteld dek wordt ingevoerd en rekening wordt gehouden met de belasting van het eigengewicht.
-----------------------------	---

Project Benchmark open moten

8. Belastingsgevallen

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Richting	Duur	'Master' belastingsgeval
BG1	Eigen gewicht	Permanent Eigen gewicht	LG1-Permanent	-Z		
BG2a	Rustende belasting - Berm	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG2b	Rustende belasting - Overig	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG2c	Asfalt	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG3	Dummy	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG4a	Waterdruk-Bouwphase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG4b	Waterdruk-Bouwphase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel		Kort	Geen
BG5a	Korreldruk-Bouwphase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG5b	Korreldruk-Bouwphase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel		Kort	Geen
BG6a	Waterdruk-Eindfase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG6b	Waterdruk-Eindfase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel		Kort	Geen
BG7a	Korreldruk-Eindfase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG7b	Korreldruk-Eindfase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel		Kort	Geen
BG8	Krimp Standaard	Variabel Statisch	LG3-Krimp		Kort	Geen
BG9a	Bovenbelasting-Links Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard		Kort	Geen
BG9b	Bovenbelasting-Rechts Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard		Kort	Geen
BG12	Opspaneffect Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard		Kort	Geen
BG13	Dummy	Permanent Standaard	LG1-Permanent			
BG15a	Thermisch_Zomer_Jaarlyks Standaard	Variabel Statisch	LG4-Thermisch-Jaar		Kort	Geen
BG15b	Thermisch_Zomer_Dagelijks Standaard	Variabel Statisch	LG5-Thermisch-Dag		Kort	Geen
BG15c	Thermisch_Winter_Jaarlyks Standaard	Variabel Statisch	LG4-Thermisch-Jaar		Kort	Geen
BG15d	Thermisch_Winter_Dagelijks Standaard	Variabel Statisch	LG5-Thermisch-Dag		Kort	Geen
BG16a	Verdichten_Links Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard		Kort	Geen
BG16b	Verdichten_Rechts Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard		Kort	Geen
BG17a	Mobiel_ConfiguratieA Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel		Kort	Geen
BG17b	Mobiel_ConfiguratieB Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel		Kort	Geen
BG17c	Mobiel_ConfiguratieC Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel		Kort	Geen
BG17d	Mobiel_ConfiguratieD Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel		Kort	Geen
BG17e	Mobiel_ConfiguratieE Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel		Kort	Geen

9. Belastinggroepen

Naam	Last	Relatie	Type
LG1	Permanent		
LG1-Permanent	Permanent		
LG2-WK_variabel	Variabel	Samen	Cat A: Woning
LG3-Krimp	Variabel	Standaard	Cat A: Woning
LG4-Thermisch-Jaar	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
LG5-Thermisch-Dag	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
LG6-Mobiel	Variabel	Exclusief	Cat A: Woning
LG7-Standaard	Variabel	Standaard	Cat A: Woning

Project Benchmark open moten

10. Combinaties

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
6.14b.1	SLS-kar1	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asphalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.80
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.80
			BG12 - Opspaneffect	1.00
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.80
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.80
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.80
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.80
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.80
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.80
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.80
6.14b.2	SLS-kar2	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asphalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a -	1.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.00
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.00
			BG12 - Opspaneffect	0.80
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.80
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.80
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.80
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.80
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.80
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.80
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.80
6.14b.3	SLS-kar3	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.80
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.80
			BG12 - Opspaneffect	0.80
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	1.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	1.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	1.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	1.00
			BG16a - Verdichten_Links	0.80
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.80
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.80
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.80
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.80
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.80

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.80
6.14b.4	SLS-kar4	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.80
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.80
			BG12 - Opspaneffect	0.80
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	1.00
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.00
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.80
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.80
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.80
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.80
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.80
6.14b.5	SLS-kar5	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.80
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.80
			BG12 - Opspaneffect	0.80
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.80
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.80
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.00
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.00
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.00
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.00
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.00
6.15b.1	SLS-freq1	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.40
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.40
			BG12 - Opspaneffect	0.80
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.40
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.40
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.40
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.40
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.40
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.40
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.40

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
6.15b.2	SLS-freq2	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.80
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.80
			BG12 - Opspaneffect	0.40
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.40
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.40
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.40
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.40
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.40
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.40
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.40
6.15b.3	SLS-freq3	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			Korrelndruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.40
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.40
			BG12 - Opspaneffect	0.40
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.80
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.80
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.80
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.80
			BG16a - Verdichten_Links	0.40
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.40
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.40
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.40
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.40
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.40
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.40
6.15b.4	SLS-freq4	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korrelndruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korrelndruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korrelndruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korrelndruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.40
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.40
			BG12 - Opspaneffect	0.40
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.80
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.80
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.40
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.40
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.40
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.40
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.40
6.15b.5	SLS-freq5	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.00
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.00
			BG2c - Asfalt	1.00
			BG3 - Dummy	1.00
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.00
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.00
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.00
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.00
			BG8 - Krimp	1.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	0.40
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	0.40
			BG12 - Opspaneffect	0.40
			BG13 - Dummy	1.00
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.30
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.30
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.30
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.30
			BG16a - Verdichten_Links	0.40
			BG16b - Verdichten_Rechts	0.40
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	0.80
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	0.80
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	0.80
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	0.80
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	0.80
CC2-6.10A.1	ULS-CC2-1	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.30
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.30
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.30
			BG2c - Asfalt	1.30
			BG3 - Dummy	1.30
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.30
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.30
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.30
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.30
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.30
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.30
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.30
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.30

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.30
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlijs	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlijs	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10A.2	ULS-CC2-2	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.30
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlijs	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlijs	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.1	ULS-CC2-3	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.20
			BG2a - Rustende belasting -	1.20

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			Berm	
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.20
			BG2c - Asfalt	1.20
			BG3 - Dummy	1.20
			BG4a -	1.20
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	1.20
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	1.20
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	1.20
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	1.20
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	1.20
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	1.20
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	1.20
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.50
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.50
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlyks	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlyks	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.2	ULS-CC2-4	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.20
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.20
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.20
			BG2c - Asfalt	1.20
			BG3 - Dummy	1.20
			BG4a -	1.20
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	1.20
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	1.20
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	1.20
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	1.20
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	1.20
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	1.20
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	1.20
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.50
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.3	ULS-CC2-5	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.20
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.20
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.20
			BG2c - Asfalt	1.20
			BG3 - Dummy	1.20
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.20
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.20
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.20
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.20
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.20
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.20
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.20
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.20
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.50
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.50
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.4	ULS-CC2-6	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.20
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.20

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.20
			BG2c - Asfalt	1.20
			BG3 - Dummy	1.20
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.20
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.20
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.20
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.20
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.20
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.20
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.20
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.20
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.35
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.35
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.35
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.35
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.35
CC2-6.10B.5	ULS-CC2-7	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.50

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.50
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.6	ULS-CC2-8	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.50
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.7	ULS-CC2-9	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting -	0.90

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			Overig	
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlyks	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlyks	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.50
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.50
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.08
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.08
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.08
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.08
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.08
CC2-6.10B.8	ULS-CC2-10	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.20
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.20

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG12 - Opspaneffect	1.20
			BG13 - Dummy	1.20
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.20
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.20
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.35
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.35
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.35
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.35
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.35
CC3-6.10A.1	ULS-CC3-1	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.40
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.40
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.40
			BG2c - Asfalt	1.40
			BG3 - Dummy	1.40
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.40
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.40
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.40
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.40
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.40
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.40
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.40
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.40
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.40
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10A.2	ULS-CC3-2	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	0.90
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	0.90
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	0.90
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	0.90
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	0.90
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlyks	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlyks	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.1	ULS-CC3-3	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.25
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.25
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.25
			BG2c - Asfalt	1.25
			BG3 - Dummy	1.25
			BG4a -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.65
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.65
			BG12 - Opspaneffect	1.32

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.2	ULS-CC3-4	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.25
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.25
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.25
			BG2c - Asfalt	1.25
			BG3 - Dummy	1.25
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	1.25
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	1.25
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	1.25
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	1.25
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	1.25
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	1.25
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	1.25
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	1.25
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.65
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.3	ULS-CC3-5	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.25
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.25
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.25
			BG2c - Asfalt	1.25

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG3 - Dummy	1.25
			BG4a -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a -	0.00
			Thermisch_Zomer_Jaarlyks	
			BG15b -	0.00
			Thermisch_Zomer_Dagelijks	
			BG15c -	0.00
			Thermisch_Winter_Jaarlyks	
			BG15d -	0.00
			Thermisch_Winter_Dagelijks	
			BG16a - Verdichten_Links	1.65
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.65
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.4	ULS-CC3-6	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1.25
			BG2a - Rustende belasting - Berm	1.25
			BG2b - Rustende belasting - Overig	1.25
			BG2c - Asfalt	1.25
			BG3 - Dummy	1.25
			BG4a -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Permanent	
			BG4b -	1.25
			Waterdruk-Bouwfase-Variabel	
			BG5a -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Permanent	
			BG5b -	1.25
			Korreldruk-Bouwfase-Variabel	
			BG6a -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Permanent	
			BG6b -	1.25
			Waterdruk-Eindfase-Variabel	
			BG7a -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Permanent	
			BG7b -	1.25
			Korreldruk-Eindfase-Variabel	
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.25

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlijs	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlijs	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.50
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.50
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.50
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.50
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.50
CC3-6.10B.5	ULS-CC3-7	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.65
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.65
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlijs	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlijs	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.6	ULS-CC3-8	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.65
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.7	ULS-CC3-9	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a -	0.00

Project Benchmark open moten

Naam	Omschrijving	Type	Belastingsgevallen	Coëff. [-]
			Thermisch_Zomer_Jaarlijs	
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlijs	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.65
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.65
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.20
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.20
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.20
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.20
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.20
CC3-6.10B.8	ULS-CC3-10	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	0.90
			BG2a - Rustende belasting - Berm	0.90
			BG2b - Rustende belasting - Overig	0.90
			BG2c - Asfalt	0.90
			BG3 - Dummy	0.90
			BG4a - Waterdruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG4b - Waterdruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG5a - Korreldruk-Bouwfase-Permanent	0.90
			BG5b - Korreldruk-Bouwfase-Variabel	0.90
			BG6a - Waterdruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	0.90
			BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	0.90
			BG8 - Krimp	0.00
			BG9a - Bovenbelasting-Links	1.32
			BG9b - Bovenbelasting-Rechts	1.32
			BG12 - Opspaneffect	1.32
			BG13 - Dummy	1.25
			BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlijs	0.00
			BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.00
			BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlijs	0.00
			BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.00
			BG16a - Verdichten_Links	1.32
			BG16b - Verdichten_Rechts	1.32
			BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	1.50
			BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	1.50
			BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	1.50
			BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	1.50
			BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	1.50

11. Resultaatklassen

Naam	Lijst
RC1_ULS_CC2	CC2-6.10A.1 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10A.2 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.1 - Omhullende - uiterst

Project Benchmark open moten

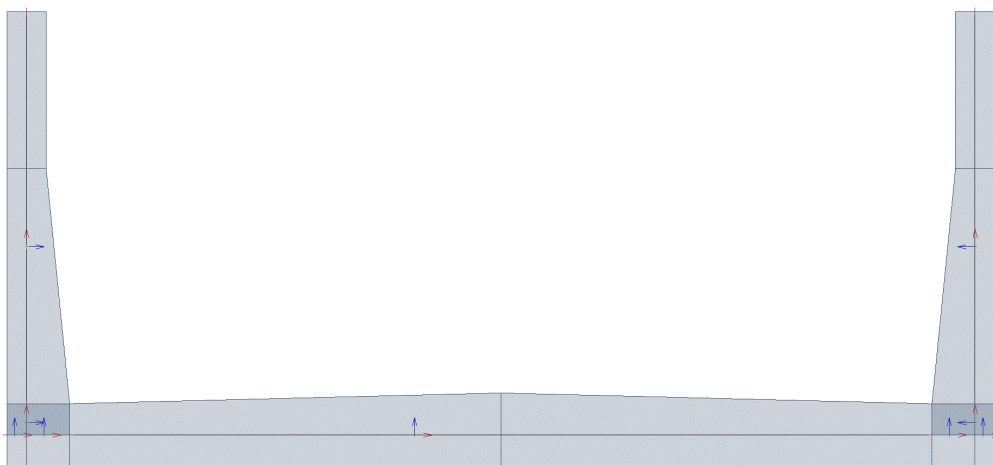
Naam	Lijst
	CC2-6.10B.2 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.3 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.4 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.5 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.6 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.7 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.8 - Omhullende - uiterst
RC2_ULS_CC3	CC3-6.10A.1 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10A.2 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.1 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.2 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.3 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.4 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.5 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.6 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.7 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.8 - Omhullende - uiterst
RC3_SLS_KAR	6.14b.1 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.2 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.3 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.4 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.5 - Omhullende - bruikbaarheid
RC4_SLS_FRE	6.15b.1 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.2 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.3 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.4 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.5 - Omhullende - bruikbaarheid

12. Belastingsgevallen

12.1. Belastingsgevallen - BG1

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Richting
BG1	Eigen gewicht	Permanent Eigen gewicht	LG1-Permanent	-Z

12.1.1. Visualisatie belastinggeval

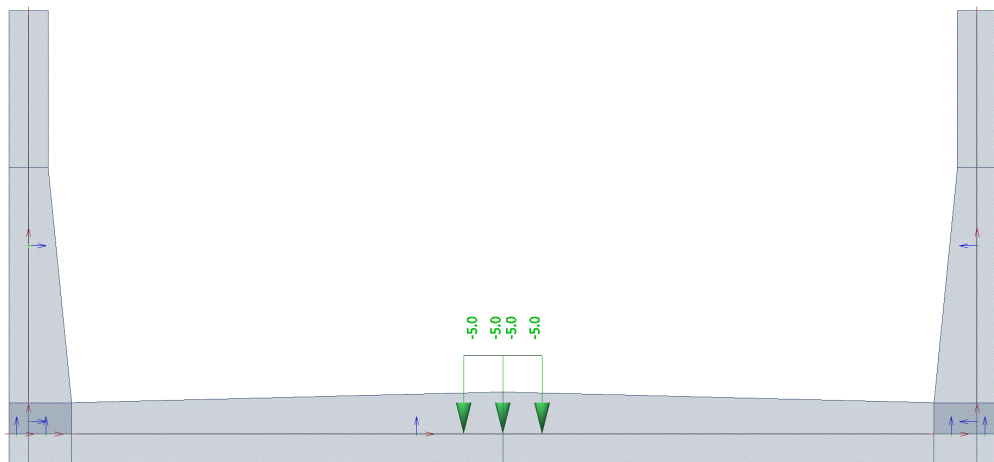


Project Benchmark open moten

12.2. Belastingsgevallen - BG2a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG2a	Rustende belasting - Berm	Permanent	LG1-Permanent
		Standaard	

12.2.1. Visualisatie belastinggeval



12.2.2. Lijnlast

Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast1	S1 BG2a - Rustende belasting - Berm	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-5.0	5.000 6.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.3. Belastingsgevallen - BG2b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG2b	Rustende belasting - Overig	Permanent	LG1-Permanent
		Standaard	

12.3.1. Visualisatie belastinggeval



12.3.2. Puntlast op staaf

Naam	Staatf Belastingsgeval	Systeem Rich	Waarde - F [kN] Type	Pos x	Coör Oors	Herh (n) Regelmatig
F1	S8 BG2b - Rustende belasting - Overig	GCS Z	-5.0 Kracht	1.000	Rela Vanaf begin	1
F2	S9 BG2b - Rustende belasting - Overig	GCS Z	-5.0 Kracht	1.000	Rela Vanaf begin	1

12.3.3. Lijnlast

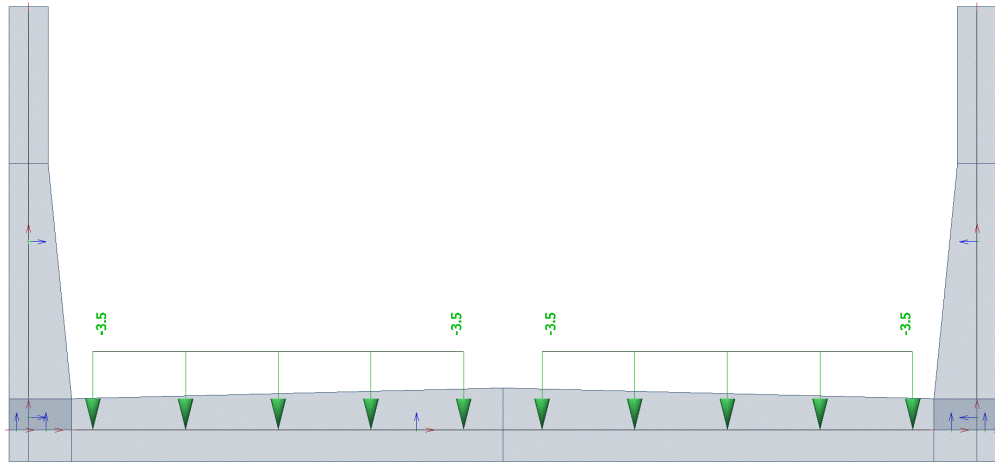
Naam	Staatf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast2	S1 BG2b - Rustende belasting - Overig	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-7.4	0.000 0.271	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast3	S1 BG2b - Rustende belasting - Overig	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-7.4	0.000 0.271	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000

Project Benchmark open moten

12.4. Belastingsgevallen - BG2c

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG2c	Asfalt	Permanent Standaard	LG1-Permanent

12.4.1. Visualisatie belastinggeval



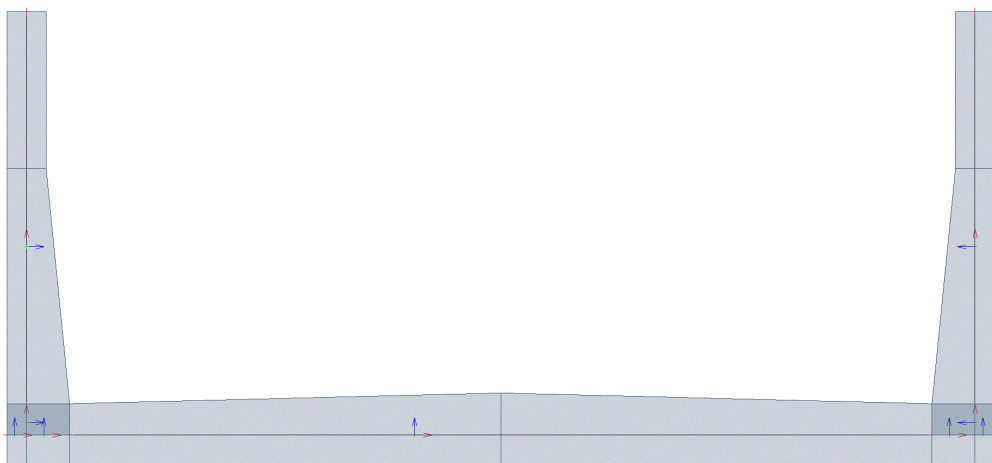
12.4.2. Lijnlast

Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast4	S1 BG2c - Asfalt	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-3.5	0.271 5.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast5	S1 BG2c - Asfalt	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-3.5	0.271 5.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000

12.5. Belastingsgevallen - BG3

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG3	Dummy	Permanent Standaard	LG1-Permanent

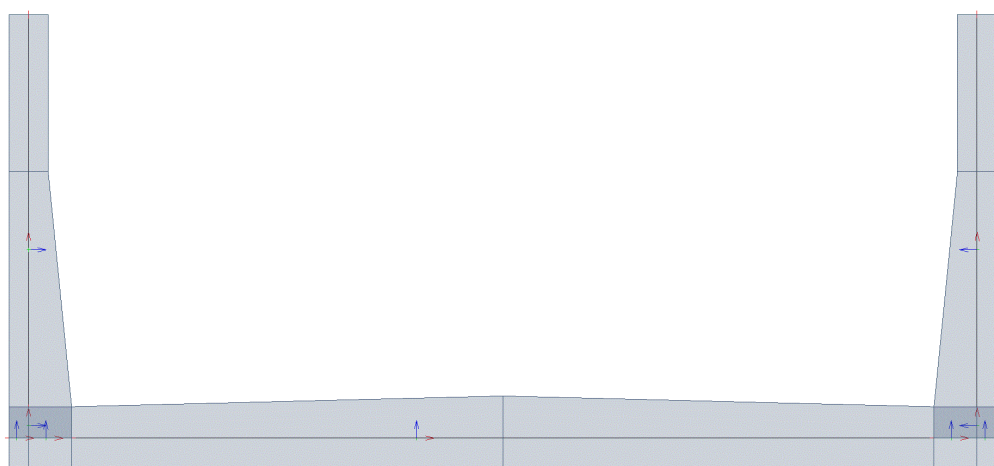
12.5.1. Visualisatie belastinggeval



12.6. Belastingsgevallen - BG4a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG4a	Waterdruk-Bouwfase-Permanent	Permanent	LG1-Permanent
		Standaard	

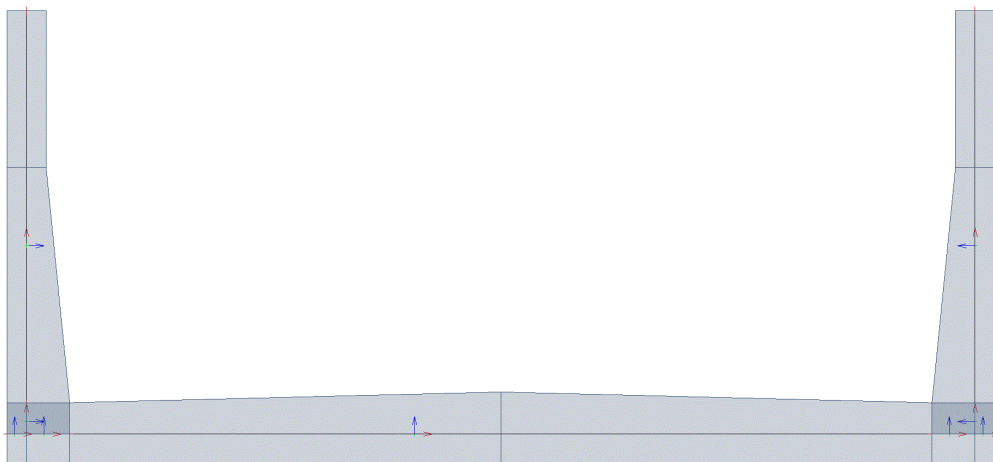
12.6.1. Visualisatie belastinggeval



12.7. Belastingsgevallen - BG4b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG4b	Waterdruk-Bouwfase-Variabel	Variabel	LG2-WK_variabel	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

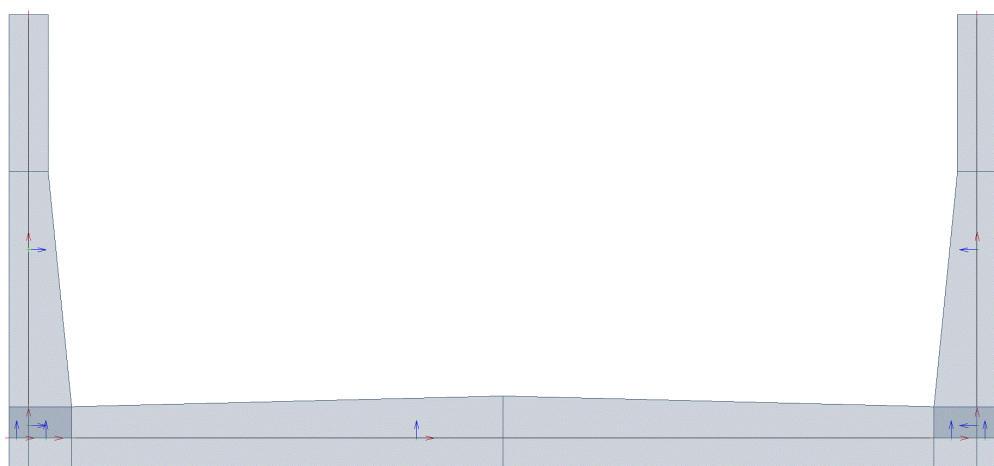
12.7.1. Visualisatie belastinggeval



12.8. Belastingsgevallen - BG5a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG5a	Korreldruk-Bouwfase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent

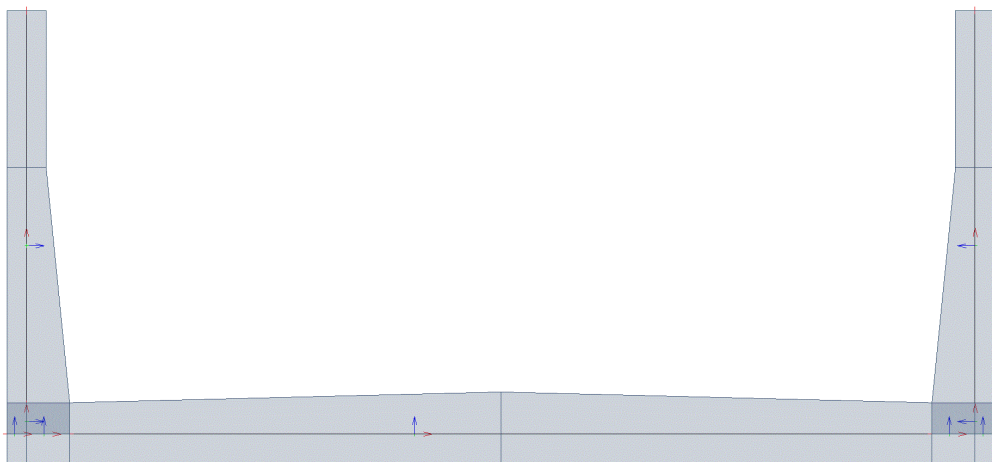
12.8.1. Visualisatie belastinggeval



12.9. Belastingsgevallen - BG5b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG5b	Korreldruk-Bouwfase-Variabel	Variabel	LG2-WK_variabel	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

12.9.1. Visualisatie belastinggeval

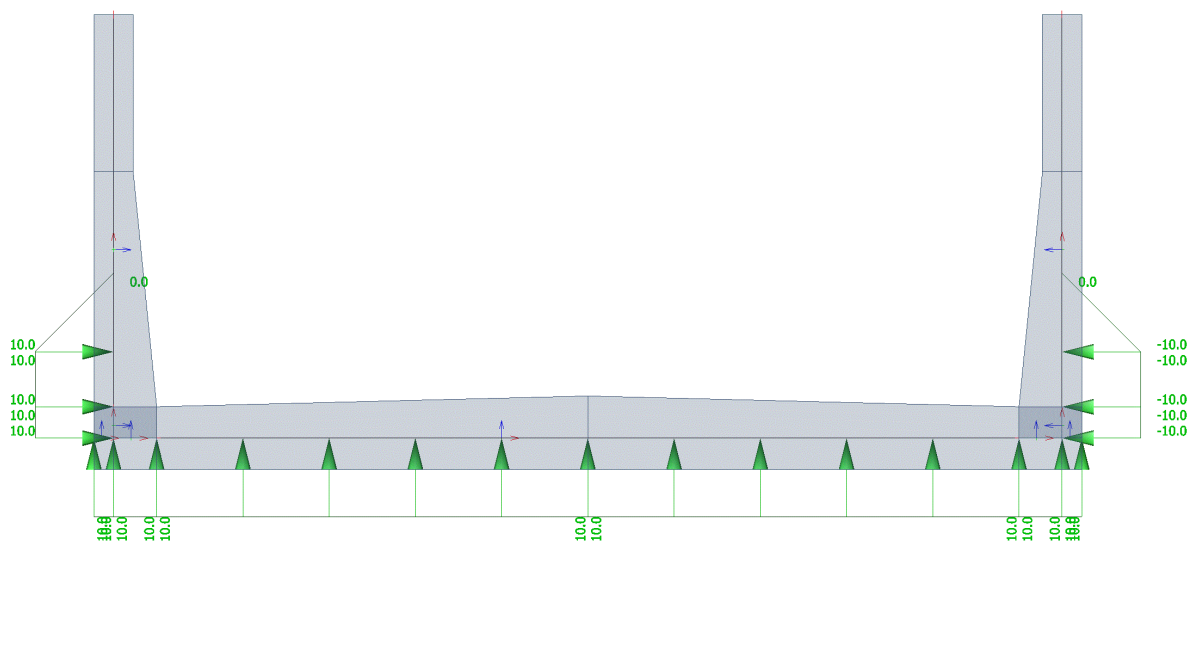


Project Benchmark open moten

12.11. Belastingsgevallen - BG6b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG6b	Waterdruk-Eindfase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel	Kort	Geen

12.11.1. Visualisatie belastinggeval



12.11.2. Lijnlast

Naam	Staat Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast17	S8 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Trapez	10.0 0.0	0.700 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast18	S9 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Trapez	-10.0 0.0	0.700 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast19	S8 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	10.0 0.700	0.000 Projectie	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast20	S9 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	-10.0 0.700	0.000 Projectie	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast21	S6 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	10.0 0.400	0.000 Projectie	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast22	S7 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	-10.0 0.400	0.000 Projectie	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast23	S1 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	10.0 1.000	0.000 Projectie	Rela Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast24	S2 BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	10.0 1.000	0.000 Projectie	Rela Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast25	S3	Kracht	Z	10.0	0.000	Rela	Vanaf begin	

Project Benchmark open moten

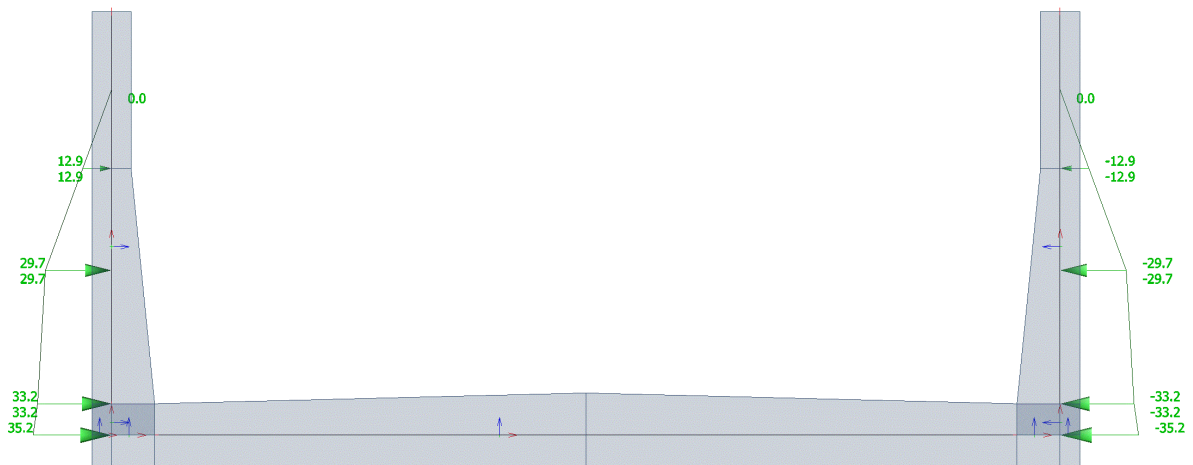
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
	BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	GCS	Gelijkmatig		1.000	Projectie		0.000
Lijnlast26	S4	Kracht	Z	10.0	0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	GCS	Gelijkmatig		1.000	Projectie		0.000
Lijnlast27	S5	Kracht	Z	10.0	0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG6b - Waterdruk-Eindfase-Variabel	GCS	Gelijkmatig		1.000	Projectie		0.000

Project Benchmark open moten

12.12. Belastingsgevallen - BG7a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG7a	Korreldruk-Eindfase-Permanent	Permanent Standaard	LG1-Permanent

12.12.1. Visualisatie belastinggeval



12.12.2. Lijnlast

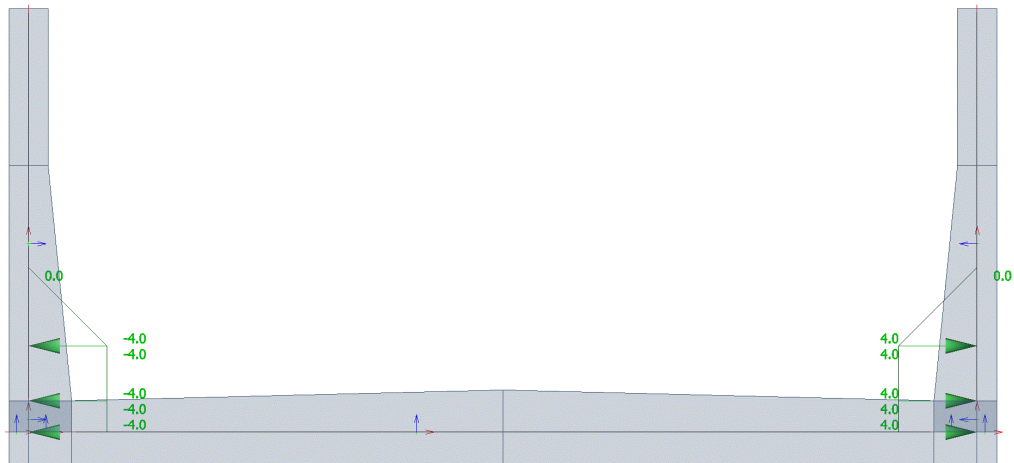
Naam	Staaft Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast30	S8	Kracht	X	29.7	1.700	Abso	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	0.0	4.000	Projectie		0.000
Lijnlast31	S9	Kracht	X	-29.7	1.700	Abso	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	0.0	4.000	Projectie		0.000
Lijnlast32	S8	Kracht	X	33.2	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	29.7	1.700	Projectie		0.000
Lijnlast33	S9	Kracht	X	-33.2	0.000	Abso	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	-29.7	1.700	Projectie		0.000
Lijnlast34	S6	Kracht	X	35.2	0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	33.2	1.000	Projectie		0.000
Lijnlast35	S7	Kracht	X	-35.2	0.000	Rela	Vanaf begin	
	BG7a - Korreldruk-Eindfase-Permanent	GCS	Trapez	-33.2	1.000	Projectie		0.000

Project Benchmark open moten

12.13. Belastingsgevallen - BG7b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG7b	Korreldruk-Eindfase-Variabel Standaard	Variabel Statisch	LG2-WK_variabel	Kort	Geen

12.13.1. Visualisatie belastinggeval



12.13.2. Lijnlast

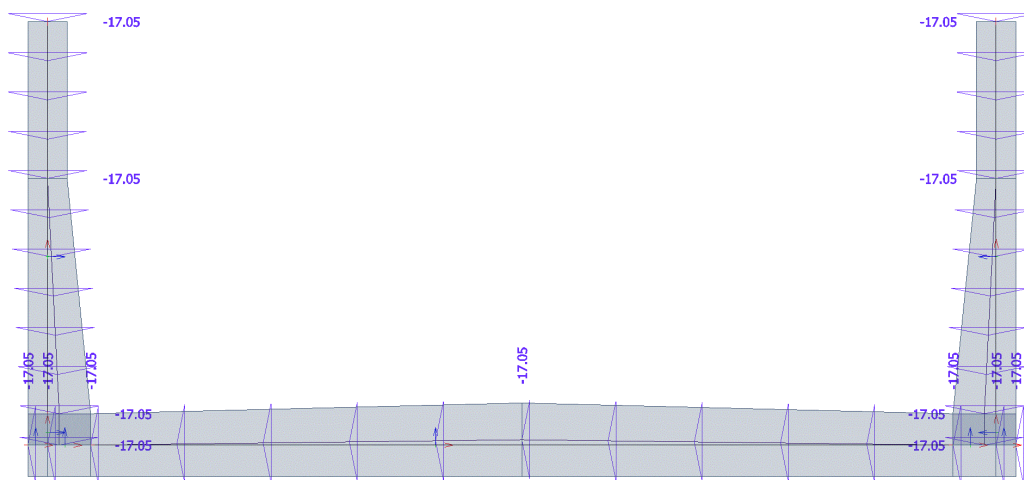
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast36	S8 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Trapez	-4.0 0.0	0.700 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast37	S9 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Trapez	4.0 0.0	0.700 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast38	S8 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	-4.0 0.700	0.000 0.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast39	S9 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	4.0 0.700	0.000 0.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast40	S6 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	-4.0 1.000	0.000 1.000	Rela Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast41	S7 BG7b - Korreldruk-Eindfase-Variabel	Kracht GCS	X Gelijkmatig	4.0 1.000	0.000 1.000	Rela Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.14. Belastingsgevallen - BG8

Naam	Omschrijving	Actie type	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
	Spec	Belastingtype			
BG8	Krimp	Variabel	LG3-Krimp	Kort	Geen
	Standaard	Statisch			

12.14.1. Visualisatie belastinggeval



12.14.2. Thermische belasting

Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
Temp1	S1	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp2	S2	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp3	S3	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp4	S4	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp5	S5	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp6	S6	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp7	S7	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp8	S8	BG8 - Krimp	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05 -17.05
Temp9	S9	BG8 - Krimp	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-17.05

Project Benchmark open moten

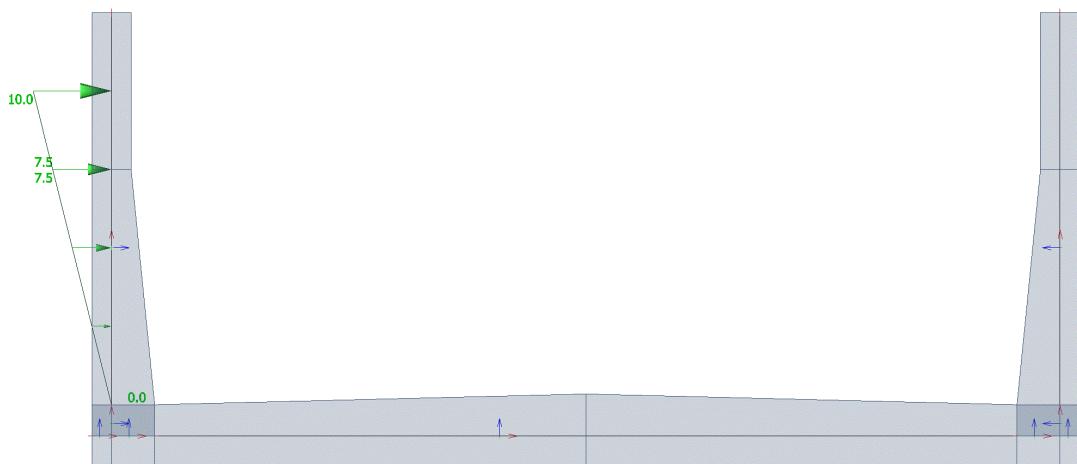
Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x_1 Pos x_2	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
			1.000				-17.05

Project Benchmark open moten

12.15. Belastingsgevallen - BG9a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG9a	Bovenbelasting-Links Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard	Kort	Geen

12.15.1. Visualisatie belastinggeval



12.15.2. Lijnlast

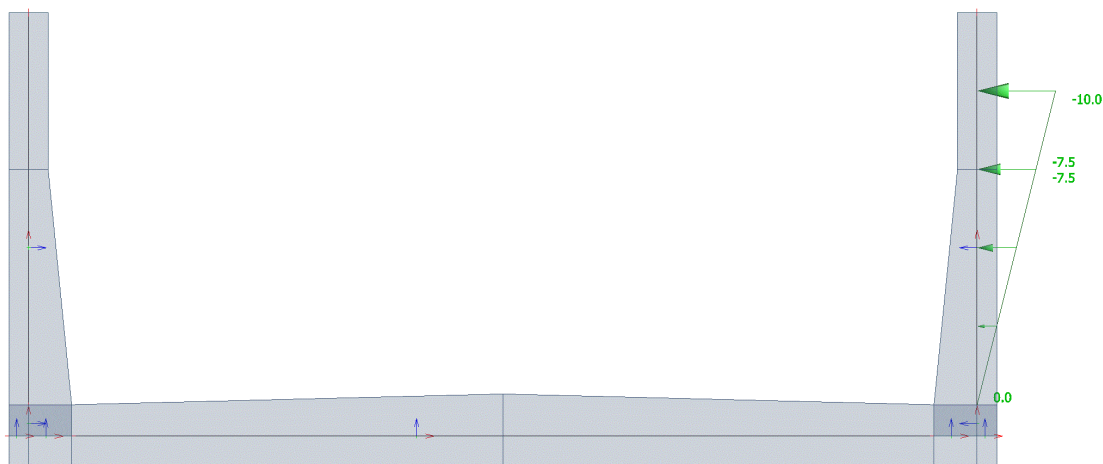
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast42	S8 BG9a - Bovenbelasting-Links	Kracht GCS	X Trapez	0.0 10.0	0.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.16. Belastingsgevallen - BG9b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG9b	Bovenbelasting-Rechts Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard	Kort	Geen

12.16.1. Visualisatie belastinggeval



12.16.2. Lijnlast

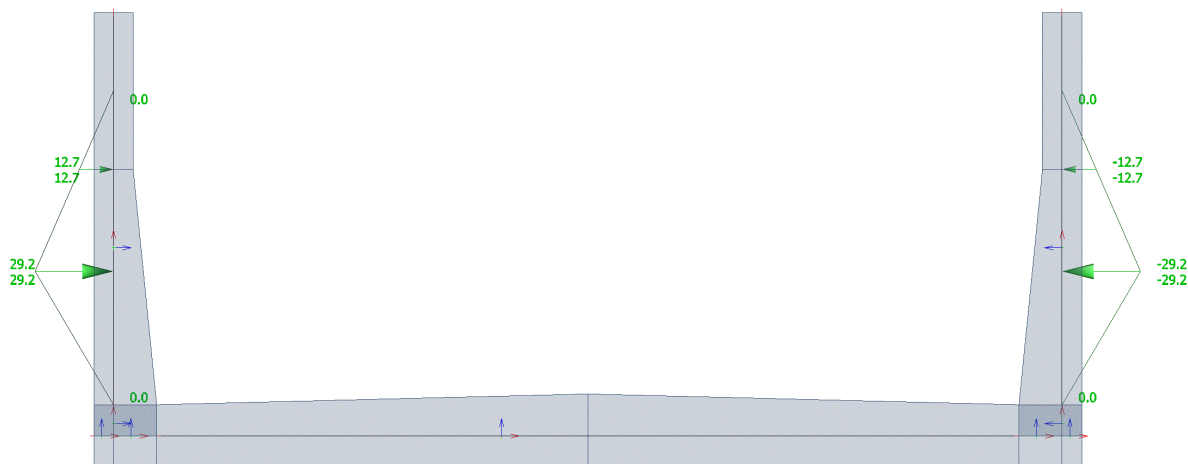
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast43	S9 BG9b - Bovenbelasting-Rechts	Kracht GCS	X Trapez	0.0 -10.0	0.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.17. Belastingsgevallen - BG12

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG12	Opspaneffect Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard	Kort	Geen

12.17.1. Visualisatie belastinggeval



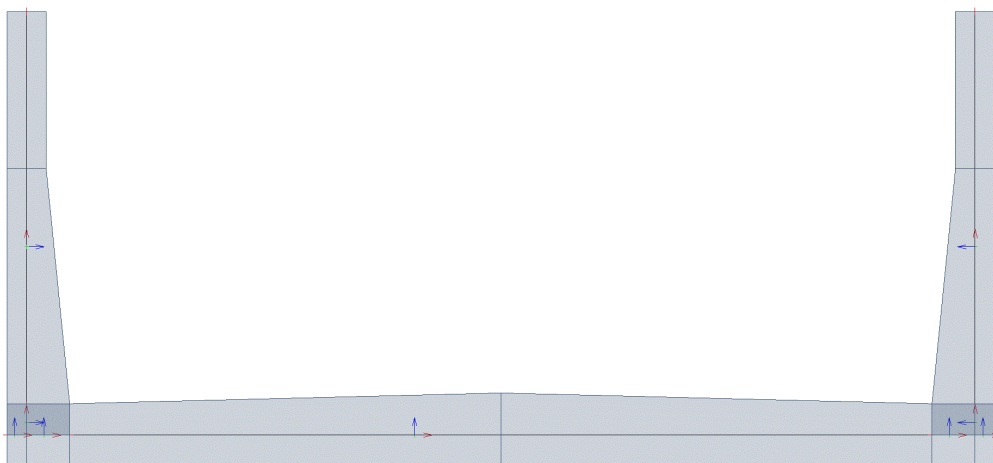
12.17.2. Lijnlast

Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast44	S8 BG12 - Opspaneffect	Kracht GCS	X Trapez	29.2 0.0	1.700 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast45	S8 BG12 - Opspaneffect	Kracht GCS	X Trapez	0.0 29.2	0.000 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast46	S9 BG12 - Opspaneffect	Kracht GCS	X Trapez	-29.2 0.0	1.700 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast47	S9 BG12 - Opspaneffect	Kracht GCS	X Trapez	0.0 -29.2	0.000 1.700	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

12.18. Belastingsgevallen - BG13

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG13	Dummy	Permanent	LG1-Permanent
		Standaard	

12.18.1. Visualisatie belastinggeval

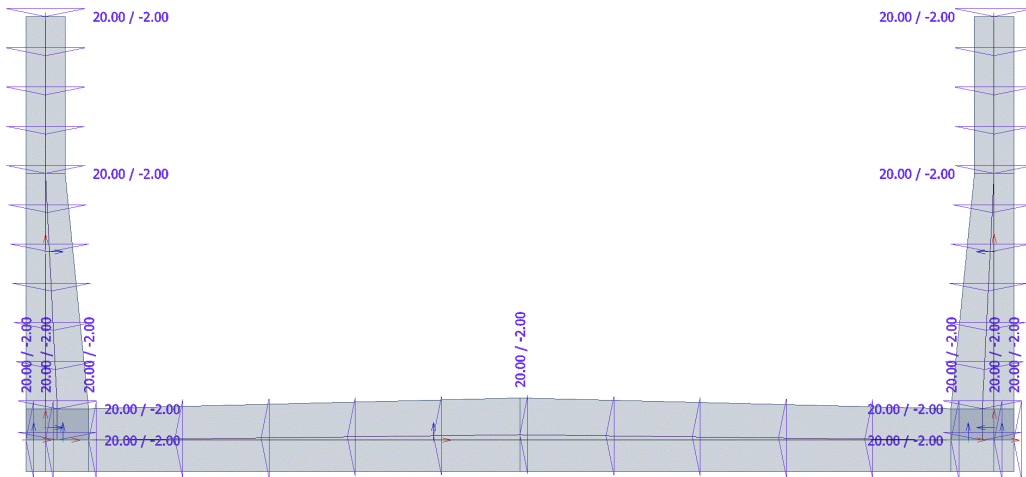


Project Benchmark open moten

12.19. Belastingsgevallen - BG15a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG15a	Thermisch_Zomer_Jaarlyjks Standaard	Variabel Statisch	LG4-Thermisch-Jaar	Kort	Geen

12.19.1. Visualisatie belastinggeval



12.19.2. Thermische belasting

Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
Temp12	S1	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00 -2.00
Temp13	S2	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00 -2.00
Temp14	S3	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00 -2.00
Temp15	S4	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00 -2.00
Temp16	S5	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00 -2.00
Temp17	S6	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00

Project Benchmark open moten

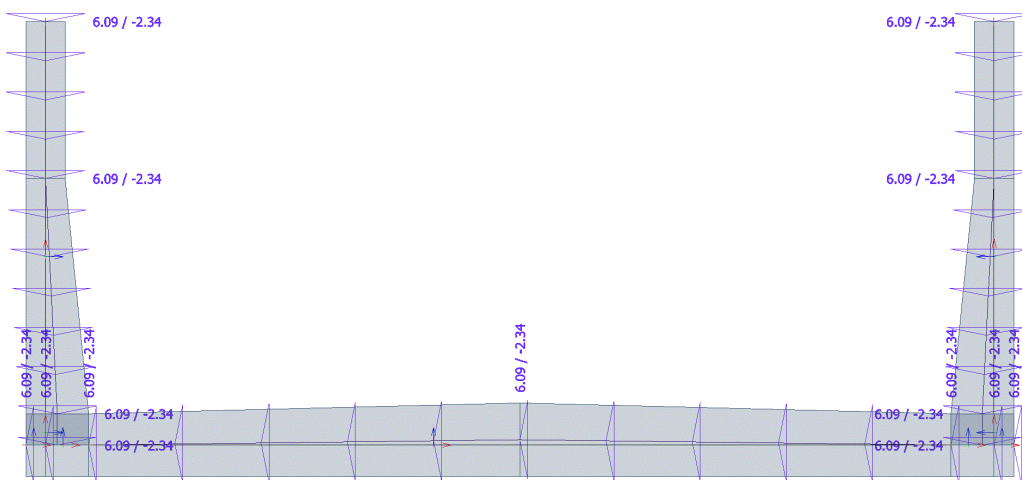
Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
			1.000				-2.00
Temp18	S7	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00
			1.000				-2.00
Temp19	S8	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00
			1.000				-2.00
Temp20	S9	BG15a - Thermisch_Zomer_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	20.00
			1.000				-2.00

Project Benchmark open moten

12.20. Belastingsgevallen - BG15b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG15b	Thermisch_Zomer_Dagelijks Standaard	Variabel Statisch	LG5-Thermisch-Dag	Kort	Geen

12.20.1. Visualisatie belastinggeval



12.20.2. Thermische belasting

Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
Temp21	S1	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09 -2.34
Temp22	S2	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09 -2.34
Temp23	S3	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09 -2.34
Temp24	S4	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09 -2.34
Temp25	S5	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09 -2.34
Temp26	S6	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09

Project Benchmark open moten

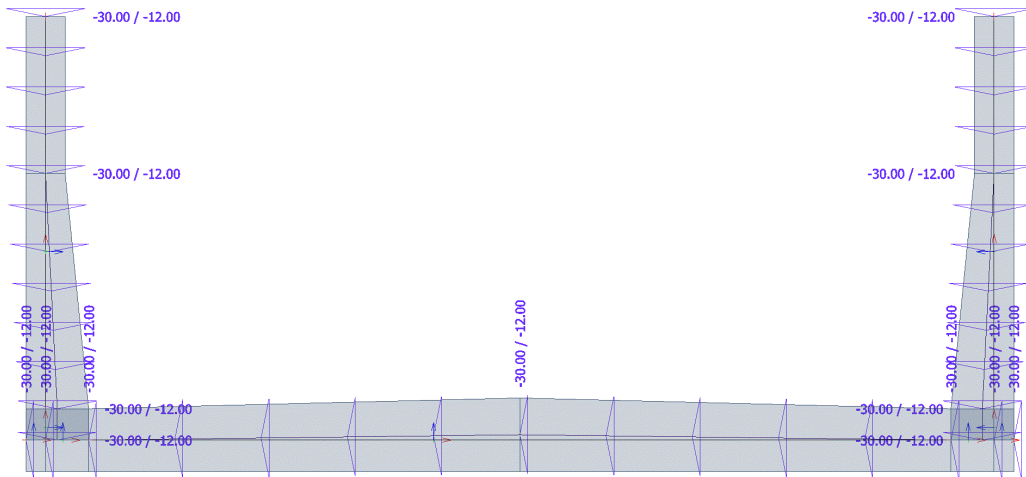
Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x_1 Pos x_2	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
			1.000				-2.34
Temp27	S7	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09
			1.000				-2.34
Temp28	S8	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09
			1.000				-2.34
Temp29	S9	BG15b - Thermisch_Zomer_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	6.09
			1.000				-2.34

Project Benchmark open moten

12.21. Belastingsgevallen - BG15c

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG15c	Thermisch_Winter_Jaarlyjks Standaard	Variabel Statisch	LG4-Thermisch-Jaar	Kort	Geen

12.21.1. Visualisatie belastinggeval



12.21.2. Thermische belasting

Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
Temp30	S1	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00 -12.00
Temp31	S2	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00 -12.00
Temp32	S3	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00 -12.00
Temp33	S4	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00 -12.00
Temp34	S5	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00 -12.00
Temp35	S6	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00

Project Benchmark open moten

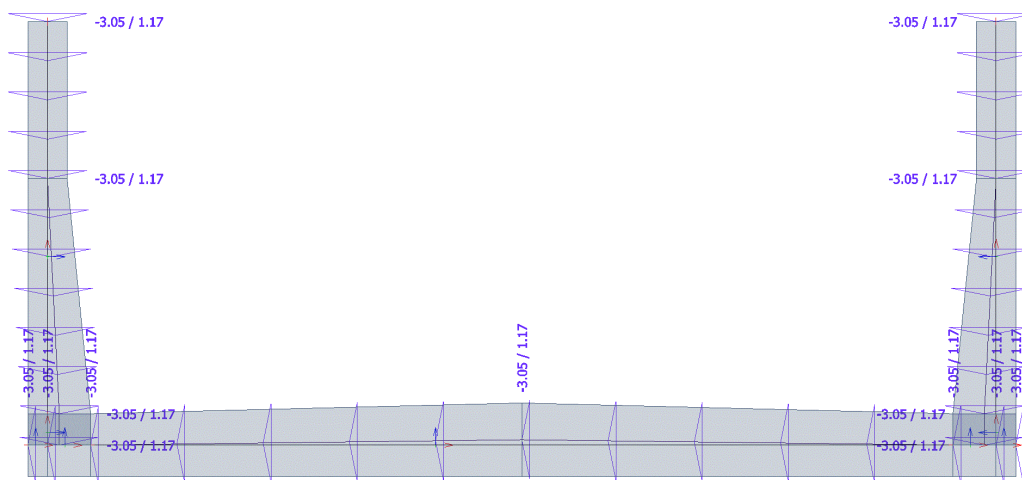
Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x_1 Pos x_2	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
			1.000				-12.00
Temp36	S7	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00
			1.000				-12.00
Temp37	S8	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00
			1.000				-12.00
Temp38	S9	BG15c - Thermisch_Winter_Jaarlyjks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-30.00
			1.000				-12.00

Project Benchmark open moten

12.22. Belastingsgevallen - BG15d

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG15d	Thermisch_Winter_Dagelijks Standaard	Variabel Statisch	LG5-Thermisch-Dag	Kort	Geen

12.22.1. Visualisatie belastinggeval



12.22.2. Thermische belasting

Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x ₁ Pos x ₂	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
Temp39	S1	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05 1.17
Temp40	S2	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05 1.17
Temp41	S3	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05 1.17
Temp42	S4	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05 1.17
Temp43	S5	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000 1.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05 1.17
Temp44	S6	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05

Project Benchmark open moten

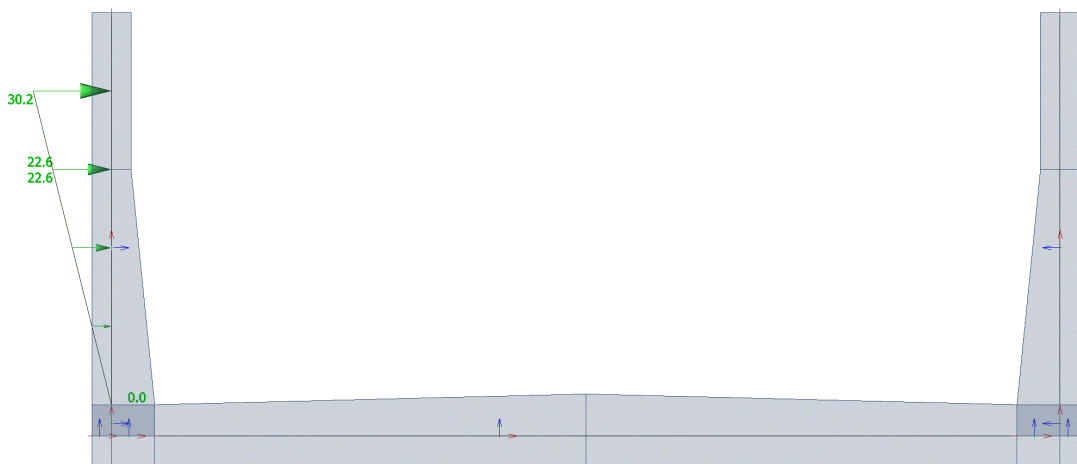
Naam	Staaf	Belastingsgeval	Pos x_1 Pos x_2	Coör	Oors	Verdeling	+z - Boven delta [K] -z - Onder delta [K]
			1.000				1.17
Temp45	S7	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05
			1.000				1.17
Temp46	S8	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05
			1.000				1.17
Temp47	S9	BG15d - Thermisch_Winter_Dagelijks	0.000	Rela	Vanaf begin	Lineair	-3.05
			1.000				1.17

Project Benchmark open moten

12.23. Belastingsgevallen - BG16a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG16a	Verdichten_Links Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard	Kort	Geen

12.23.1. Visualisatie belastinggeval



12.23.2. Lijnlast

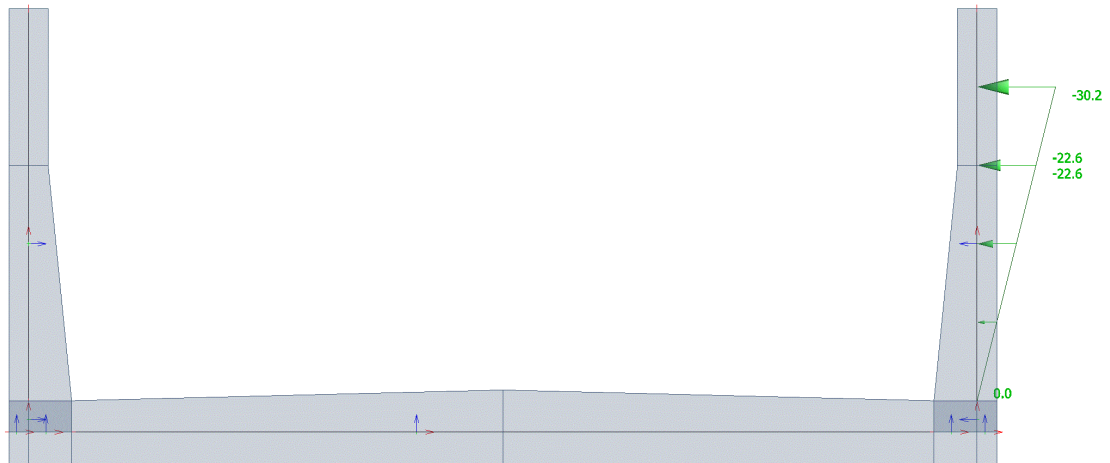
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast48	S8 BG16a - Verdichten_Links	Kracht GCS	X Trapez	0.0 30.2	0.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.24. Belastingsgevallen - BG16b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG16b	Verdichten_Rechts Standaard	Variabel Statisch	LG7-Standaard	Kort	Geen

12.24.1. Visualisatie belastinggeval



12.24.2. Lijnlast

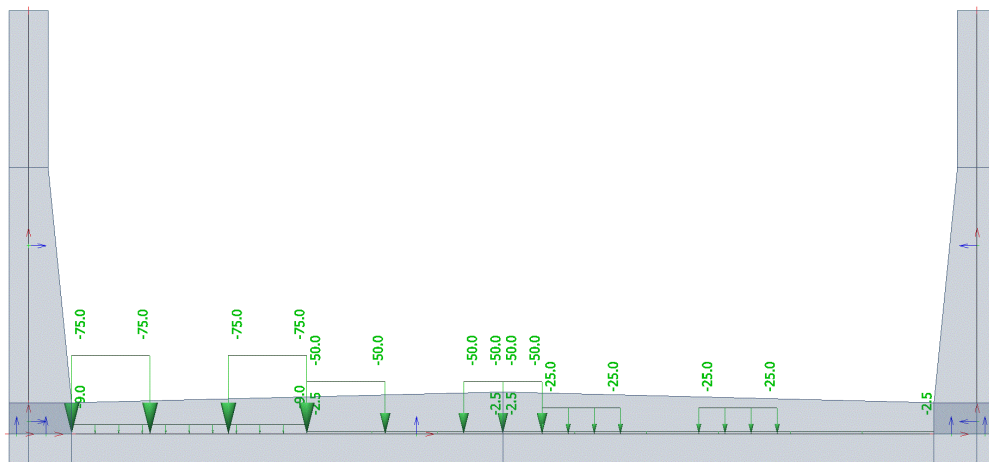
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast49	S9 BG16b - Verdichten_Rechts	Kracht GCS	X Trapez	0.0 -30.2	0.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.25. Belastingsgevallen - BG17a

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG17a	Mobiel_ConfiguratieA Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel	Kort	Geen

12.25.1. Visualisatie belastinggeval



12.25.2. Lijnlast

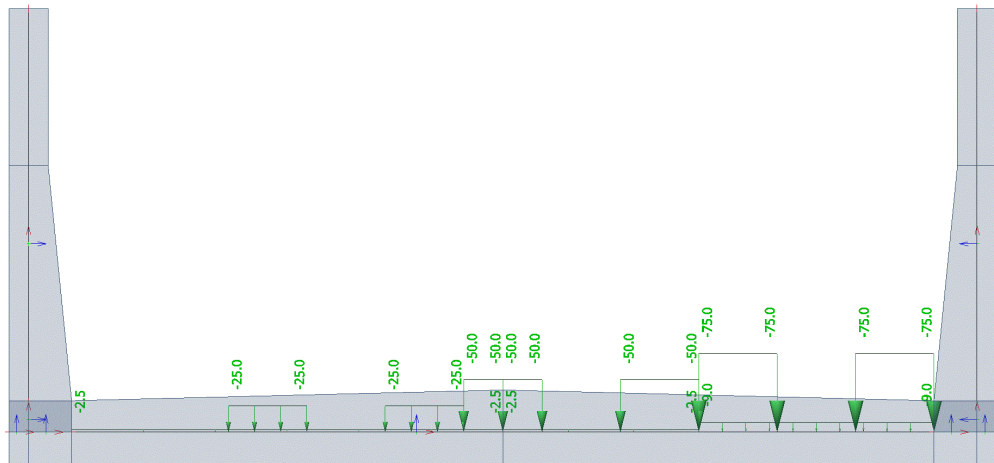
Naam	Staatf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast50	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9.0	0.000 3.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast51	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2.5	3.000 11.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast52	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	0.000 1.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast53	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	2.000 3.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast54	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	3.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast55	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	5.000 6.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast56	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	6.000 7.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast57	S1 BG17a - Mobiel_ConfiguratieA	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	8.000 9.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

Project Benchmark open moten

12.26. Belastingsgevallen - BG17b

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG17b	Mobiel_ConfiguratieB Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel	Kort	Geen

12.26.1. Visualisatie belastinggeval



12.26.2. Lijnlast

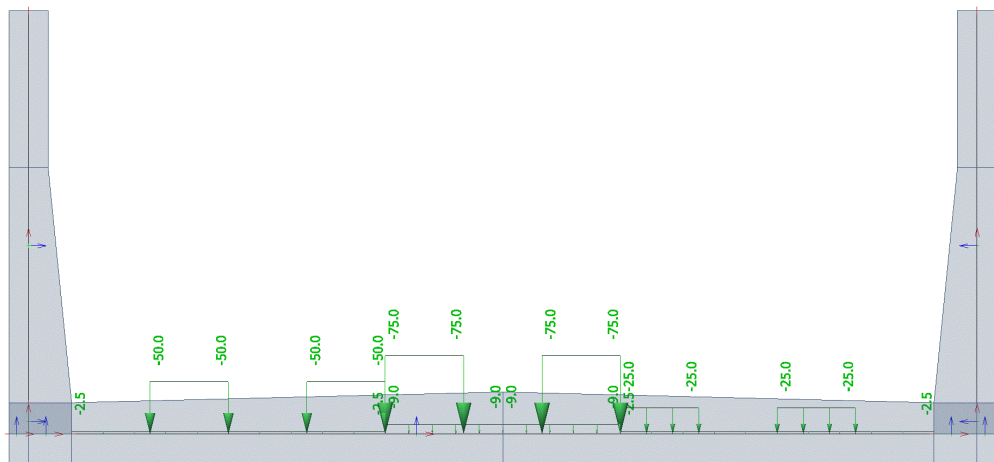
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast58	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9.0	0.000 3.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast59	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2.5	3.000 11.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast60	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	0.000 1.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast61	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	2.000 3.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast62	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	3.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast63	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	5.000 6.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast64	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	6.000 7.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast65	S1 BG17b - Mobiel_ConfiguratieB	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	8.000 9.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000

Project Benchmark open moten

12.27. Belastingsgevallen - BG17c

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG17c	Mobiel_ConfiguratieC Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel	Kort	Geen

12.27.1. Visualisatie belastinggeval



12.27.2. Lijnlast

Naam	Staaft Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast66	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	4.000 5.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast67	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	6.000 7.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast68	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	3.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast69	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	1.000 2.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast70	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	7.000 8.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast71	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-25.0	9.000 10.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast72	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9.0	4.000 7.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast73	S1 BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2.5	0.000 4.000	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast74	S1	Kracht	Z	-2.5	7.000	Abso	Vanaf begin	

Project Benchmark open moten

Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
	BG17c - Mobiel_ConfiguratieC	GCS	Gelijkmatig		11.000	Projectie		0.000

Project Benchmark open moten

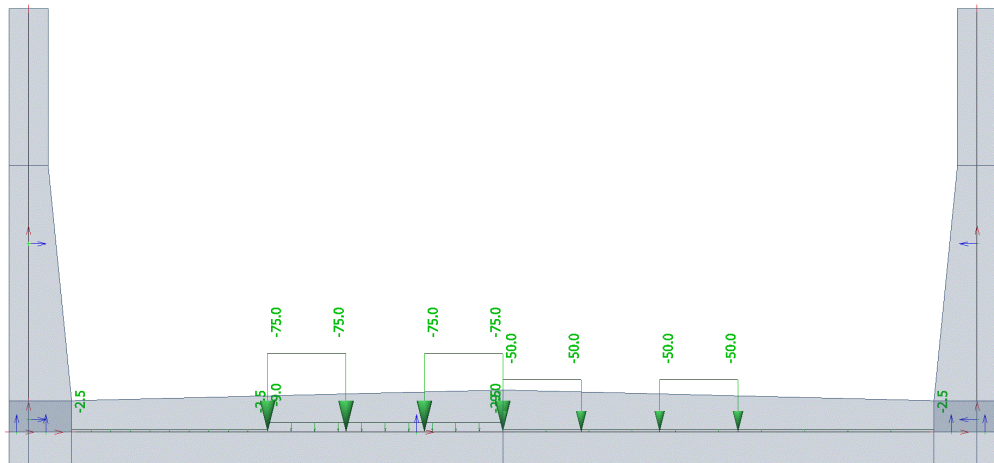
Naam	Staaf Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
	BG17d - Mobiel_ConfiguratieD	GCS	Gelijkmatig		11.000	Projectie		0.000

Project Benchmark open moten

12.29. Belastingsgevallen - BG17e

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep	Duur	'Master' belastingsgeval
BG17e	Mobiel_ConfiguratieE Standaard	Variabel Statisch	LG6-Mobiel	Kort	Geen

12.29.1. Visualisatie belastinggeval



12.29.2. Lijnlast

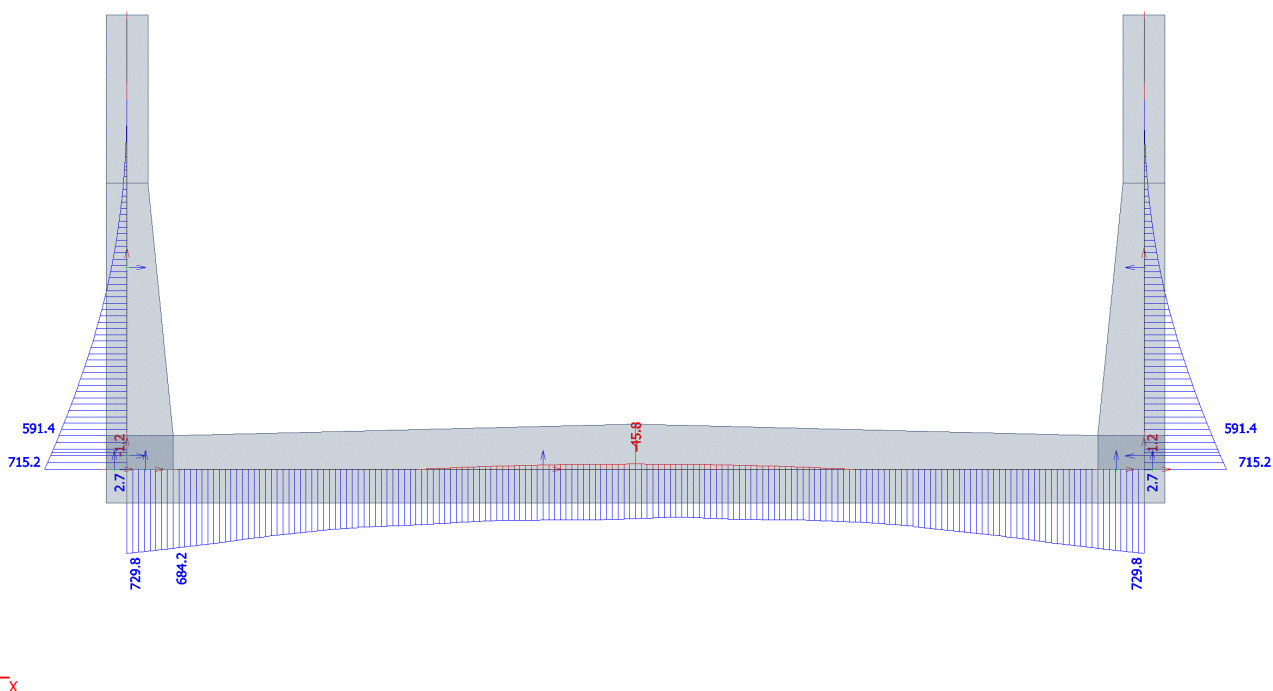
Naam	Staaft Belastingsgeval	Type Systeem	Rich Verdeling	Waarde - P ₁ [kN/m] Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₁ [m] Pos x ₂ [m]	Coör Loc	Oors	Exc ey [m] Exc ez [m]
Lijnlast84	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	4.500 5.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast85	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-75.0	2.500 3.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast86	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	5.500 6.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast87	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-50.0	7.500 8.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast88	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-9.0	2.500 5.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000
Lijnlast89	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2.5	5.500 0.000	Abso Projectie	Vanaf einde	0.000
Lijnlast90	S1 BG17e - Mobiel_ConfiguratieE	Kracht GCS	Z Gelijkmatig	-2.5	0.000 2.500	Abso Projectie	Vanaf begin	0.000

13. Resultaatklassen

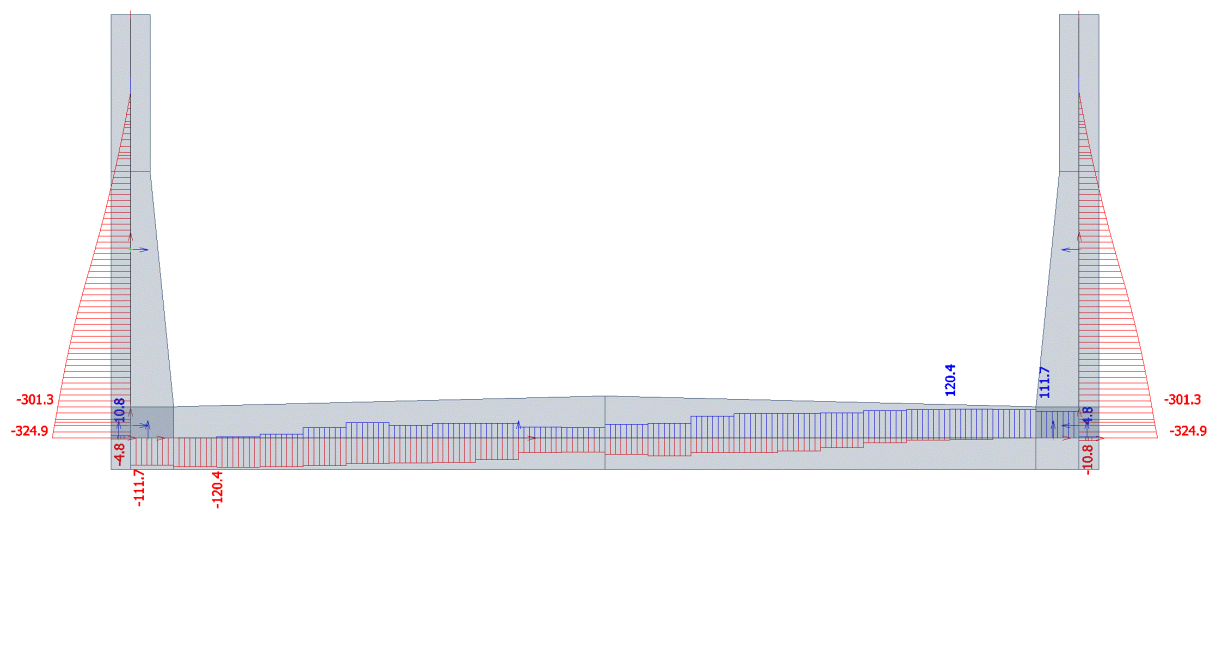
13.1. Resultaatklassen - RC1_ULS_CC2

Naam	Lijst
RC1_ULS_CC2	CC2-6.10A.1 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10A.2 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.1 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.2 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.3 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.4 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.5 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.6 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.7 - Omhullende - uiterst
	CC2-6.10B.8 - Omhullende - uiterst

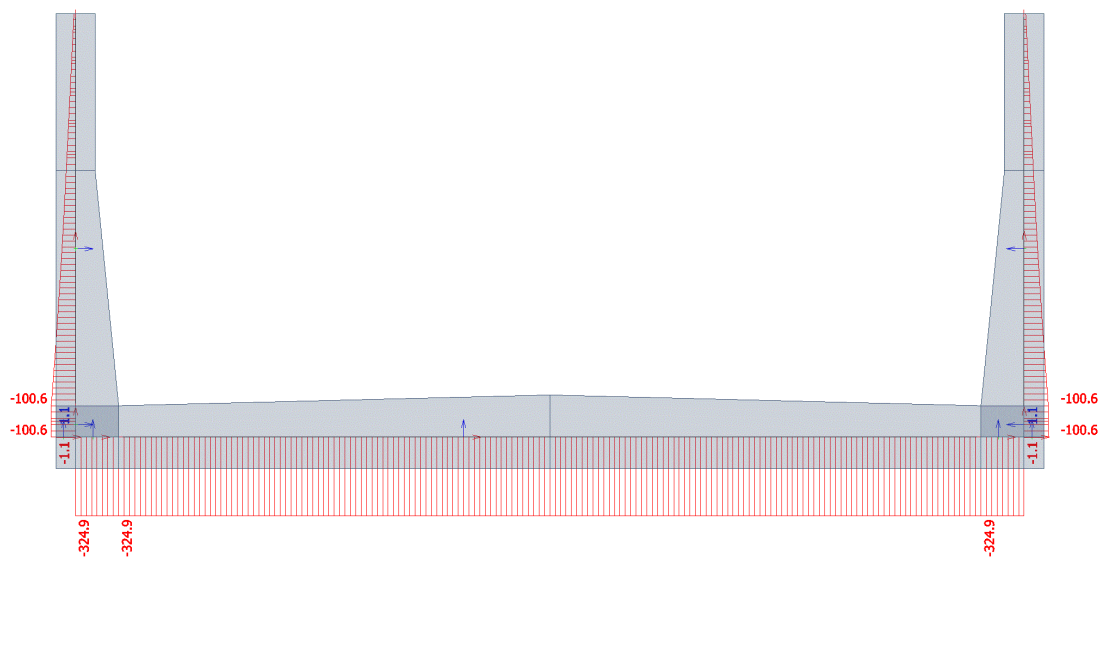
13.1.1. Interne krachten in staaf; My



13.1.2. Interne krachten in staaf; Vz



13.1.3. Interne krachten in staaf; N



Project Benchmark open moten

13.1.4. Interne krachten in staaf

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : LCS

Selectie : Alle

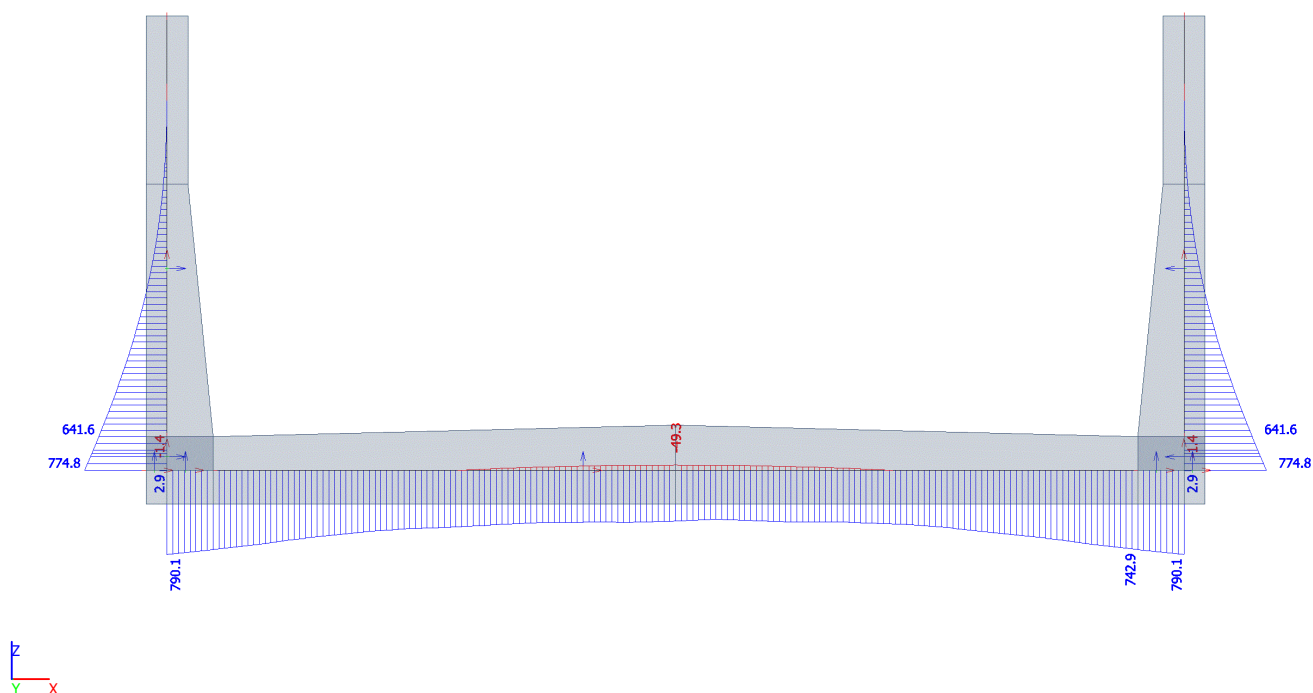
Klasse : RC1_ULS_CC2

Staad	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC2-6.10B.3/1	-324.9	-96.9	728.7
S4	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC2-6.10B.3/2	1.1	-4.0	0.0
S6	CS6_wall_stiff - Rechthoek	0.000	CC2-6.10B.3/3	-92.8	-324.9	715.2
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	9.900	CC2-6.10B.3/4	-310.1	120.4	536.5
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	5.500	CC2-6.10A.1/5	-139.4	-2.9	-45.8
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC2-6.10B.3/6	-324.9	-78.8	729.8

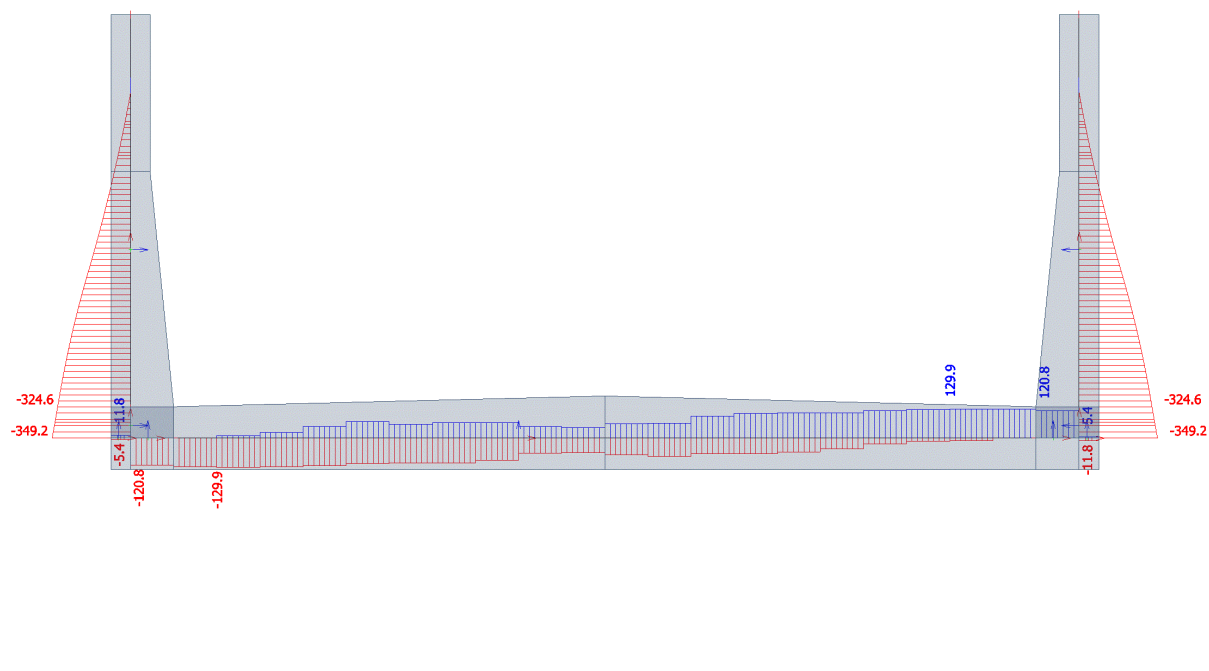
13.2. Resultaatklassen - RC2_ULS_CC3

Naam	Lijst
RC2_ULS_CC3	CC3-6.10A.1 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10A.2 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.1 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.2 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.3 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.4 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.5 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.6 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.7 - Omhullende - uiterst
	CC3-6.10B.8 - Omhullende - uiterst

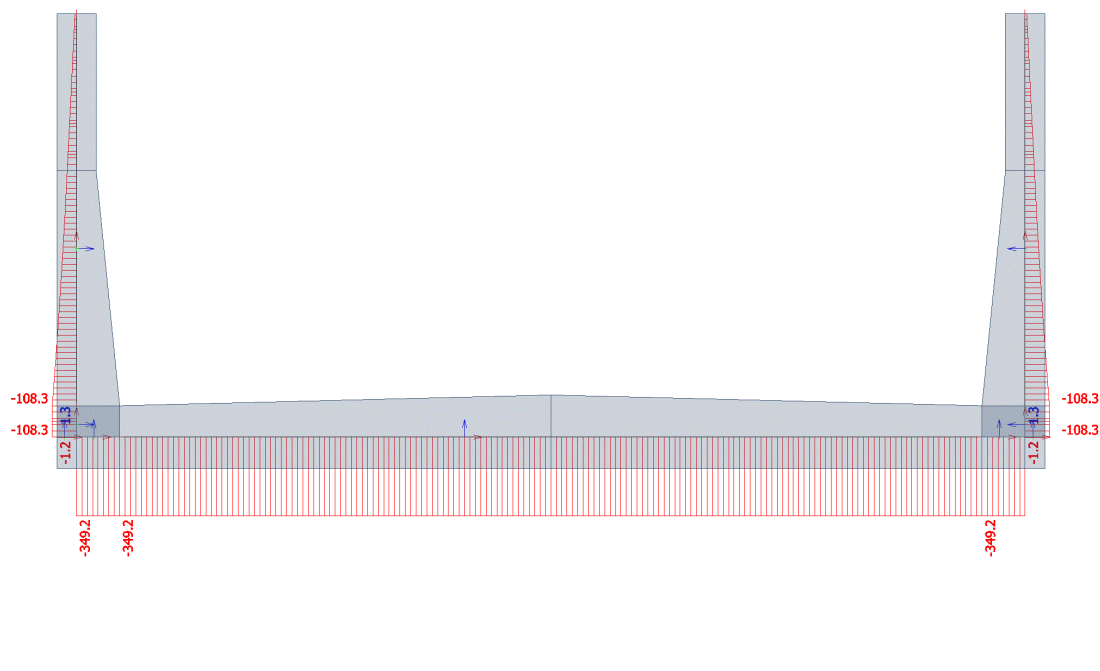
13.2.1. Interne krachten in staaf; My



13.2.2. Interne krachten in staaf; Vz



13.2.3. Interne krachten in staaf; N



Project Benchmark open moten

13.2.4. Interne krachten in staaf

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : LCS

Selectie : Alle

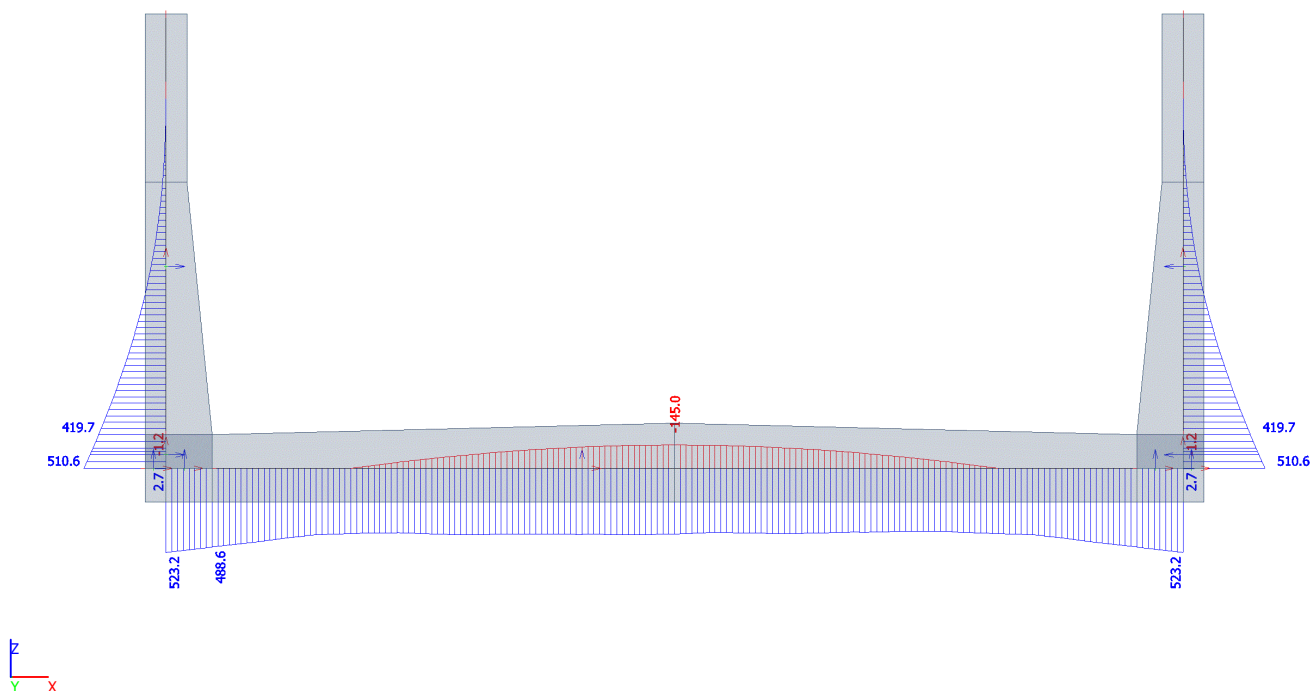
Klasse : RC2_ULS_CC3

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC3-6.10B.3/7	-349.2	-101.6	788.9
S4	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC3-6.10B.3/8	1.3	-4.6	0.0
S6	CS6_wall_stiff - Rechthoek	0.000	CC3-6.10B.3/9	-96.7	-349.2	774.8
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	9.900	CC3-6.10A.1/10	-333.1	129.9	544.0
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	5.500	CC3-6.10A.1/11	-150.1	-3.1	-49.3
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	CC3-6.10B.3/12	-349.2	-81.5	790.1

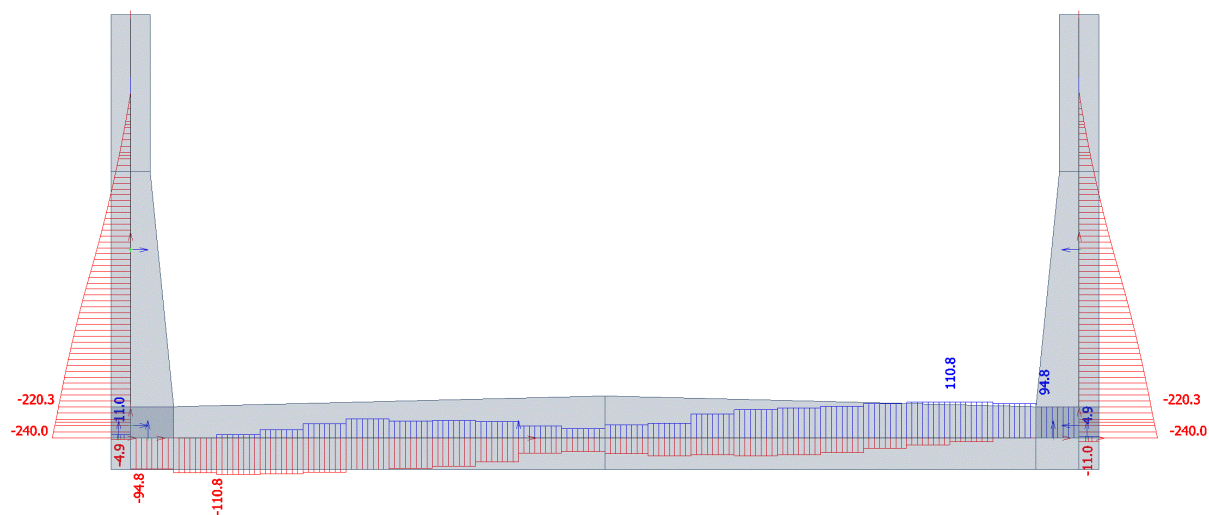
13.3. Resultaatklassen - RC3_SLS_KAR

Naam	Lijst
RC3_SLS_KAR	6.14b.1 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.2 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.3 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.4 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.14b.5 - Omhullende - bruikbaarheid

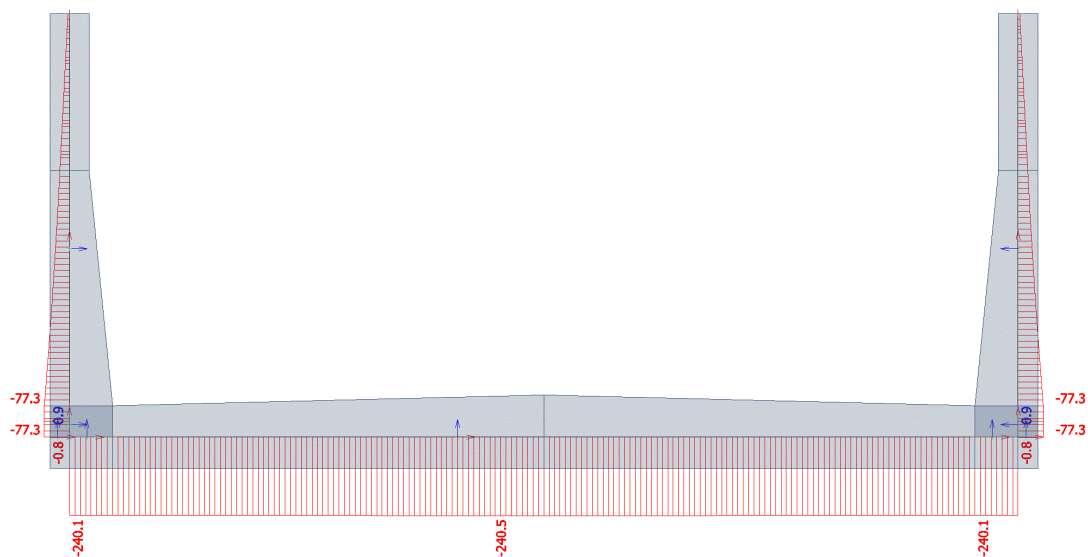
13.3.1. Interne krachten in staaf; My



13.3.2. Interne krachten in staaf; Vz



13.3.3. Interne krachten in staaf; N



Project Benchmark open moten

13.3.4. Interne krachten in staaf

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : LCS

Selectie : Alle

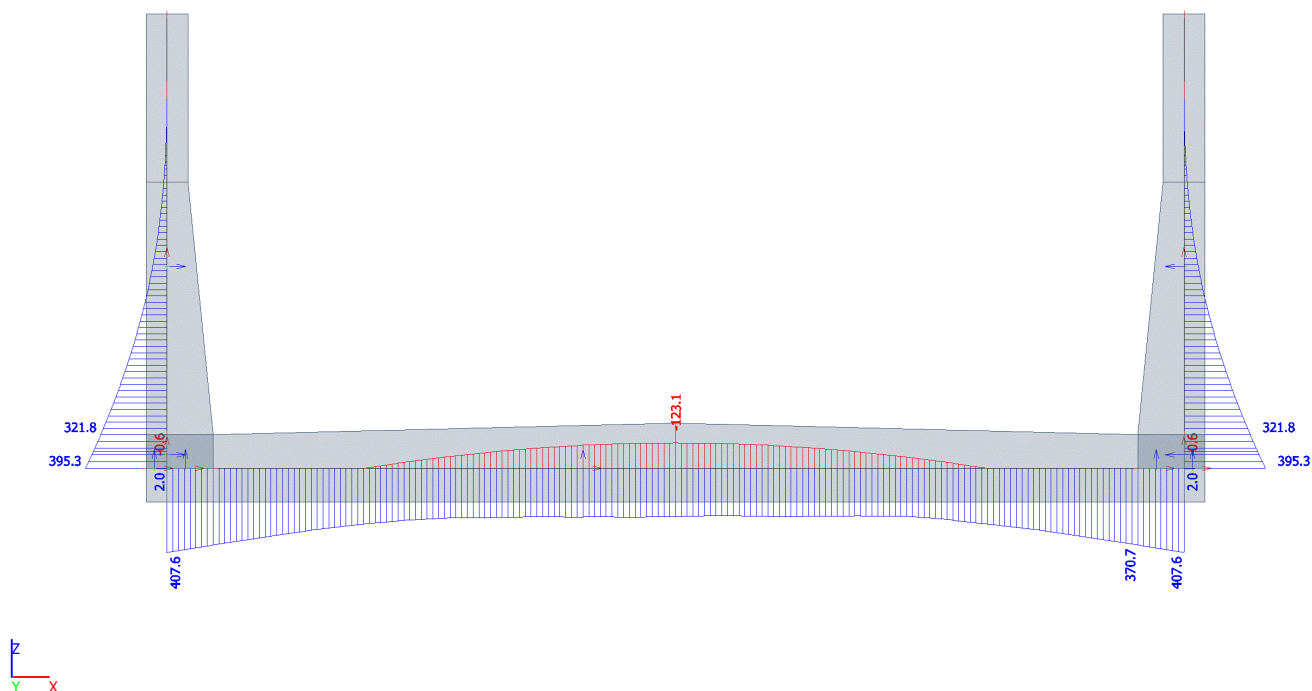
Klasse : RC3_SLS_KAR

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	4.950	6.14b.4/13	-240.5	-12.2	329.9
S4	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	6.14b.4/14	0.9	-3.2	0.0
S6	CS6_wall_stiff - Rechthoek	0.000	6.14b.4/15	-77.3	-240.0	510.6
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	9.900	6.14b.3/16	-216.2	110.8	311.2
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	5.500	6.14b.3/17	-103.0	-5.2	-145.0
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	6.14b.4/18	-240.1	-59.8	523.2

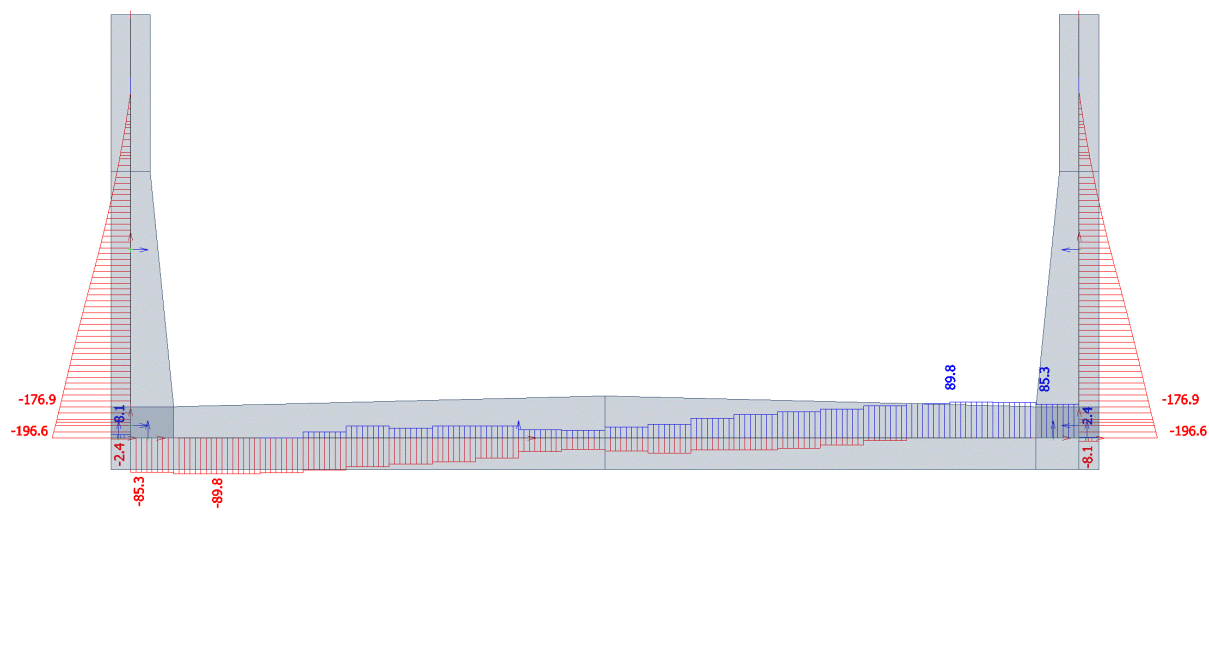
13.4. Resultaatklassen - RC4_SLS_FRE

Naam	Lijst
RC4_SLS_FRE	6.15b.1 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.2 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.3 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.4 - Omhullende - bruikbaarheid
	6.15b.5 - Omhullende - bruikbaarheid

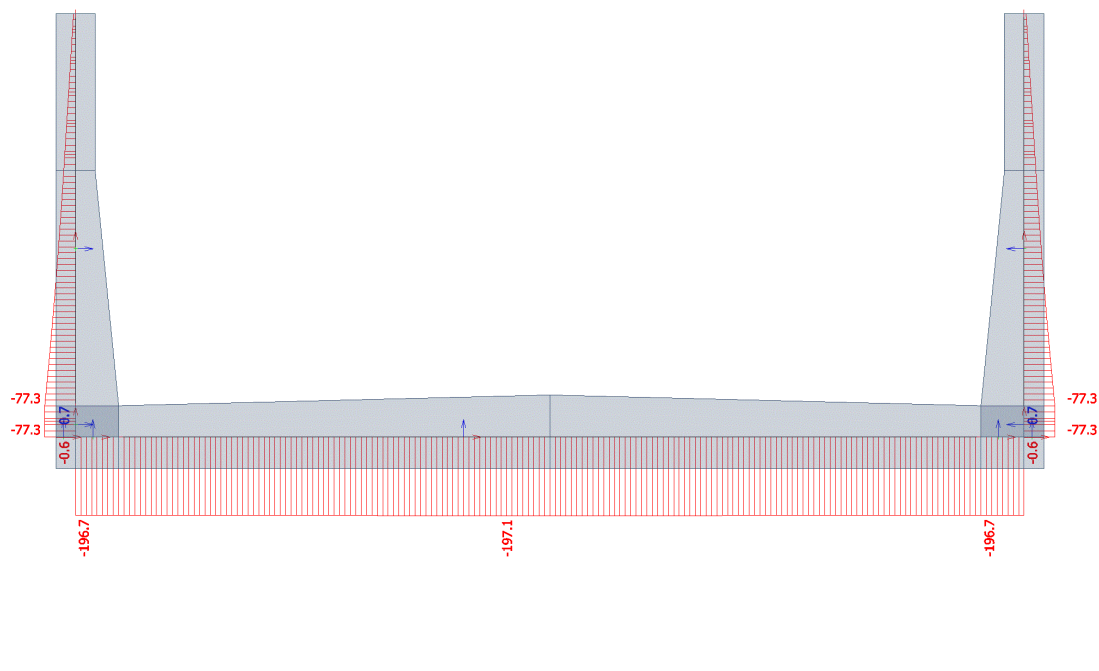
13.4.1. Interne krachten in staaf; My



13.4.2. Interne krachten in staaf; Vz



13.4.3. Interne krachten in staaf; N



Project Benchmark open moten

13.4.4. Interne krachten in staaf

Lineaire berekening, Extreem : Globaal, Systeem : LCS

Selectie : Alle

Klasse : RC4_SLS_FRE

Staaf	css	dx [m]	BG	N [kN]	Vz [kN]	My [kNm]
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	4.950	6.15b.4/19	-197.1	-7.3	202.9
S4	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	6.15b.4/20	0.7	-1.8	0.0
S6	CS6_wall_stiff - Rechthoek	0.000	6.15b.4/21	-77.3	-196.6	395.3
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	9.900	6.15b.3/22	-165.2	89.8	185.7
S1	CS1_slab_cracked - Rechthoek	5.500	6.15b.3/23	-103.8	-4.6	-123.1
S2	CS3_slab_stiff - Rechthoek	0.000	6.15b.4/24	-196.7	-64.7	407.6



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage F3

Handberekening 1 belastinggeval





Inhoudsopgave

1. INLEIDING.....	1
2. HANDBEREKENING BG7A – KORRELDRIK PERMANENT.....	2
2.1 MOMENTEN WAND.....	2
2.2 MOMENTEN VLOER.....	3
2.3 TOELICHTEN.....	4
3. CONCLUSIE	7
4. LITERATUUR.....	8

1. Inleiding

Het model van SCIA Engineer, welke gebruikt wordt tijdens de berekeningsrapportage, dient gecontroleerd te worden. Om aan te tonen dat dit model correct is, wordt er een handberekening uitgevoerd. Deze handberekening bevat één belastinggeval. Er is gekozen om belastinggeval BG7a – Korreldruk permanent uit te werken tijdens de berekening.

Als eerste wordt het wandmoment bepaald, waarna het vloermoment bepaald wordt. Als laatste wordt het een en andere verduidelijkt met voorbeelden.

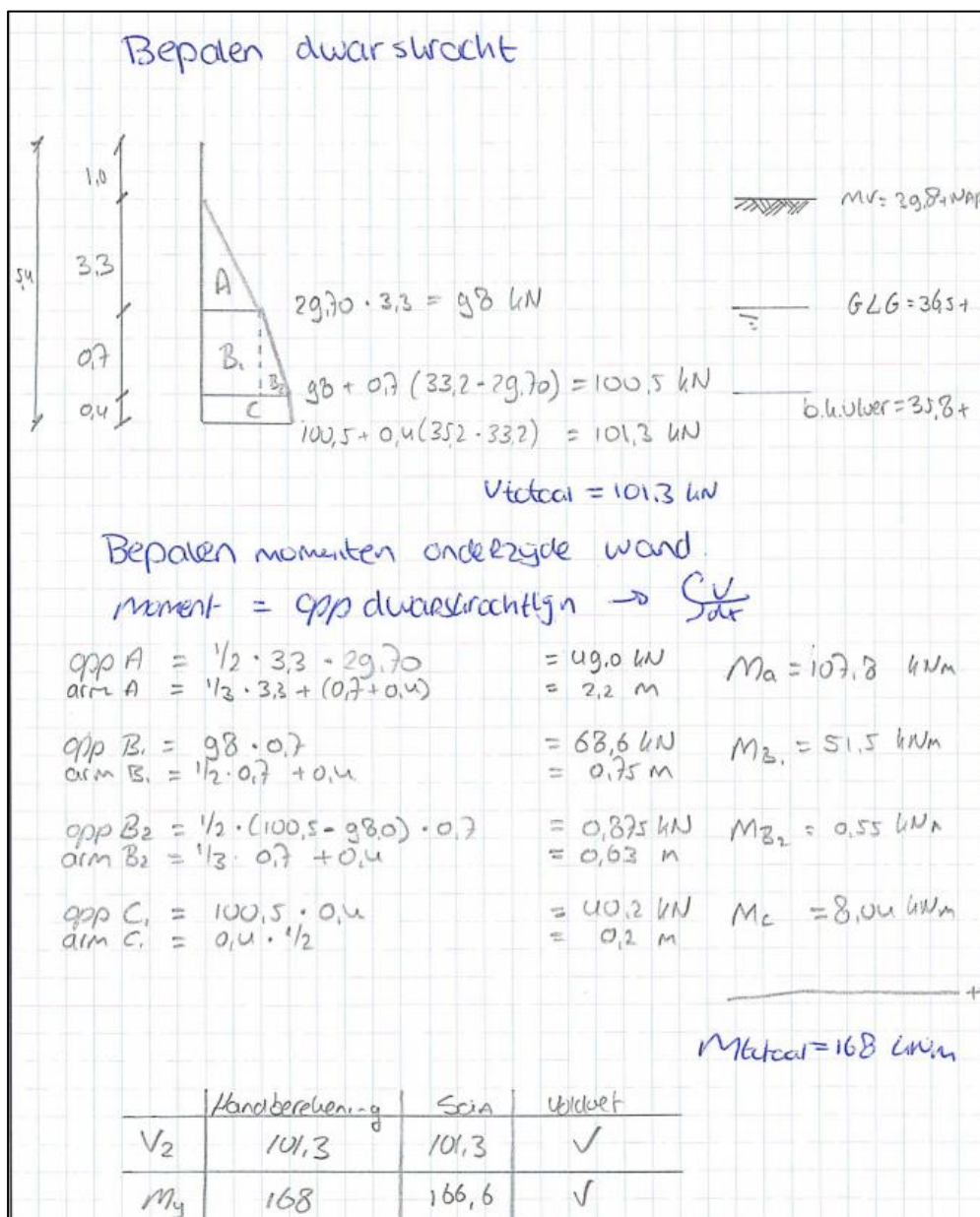
2. Handberekening BG7a – Korreldruk permanent

Om het SCIA Engineer model te controleren, wordt een belastinggeval met een handberekening gecontroleerd. Het belastinggeval welke gecontroleerd wordt, is BG7a – Eindfase – Korreldruk permanent.

2.1 Momenten wand

Om de momenten in de wand te berekenen, wordt als eerste de dwarskrachtlijn berekend. Vanuit deze lijn worden de momenten bepaald.

De wand wordt geschematiseerd als een statisch bepaalde, ingeklemde staaf. De handberekening is weergegeven in figuur 1. De momenten worden berekend door de oppervlakte onder deze dwarskrachtlijn te berekenen. Het moment wordt normaliter berekend als de integraal van de dwarskrachtfunctie.



Figuur 1: handberekening wandmomenten

2.2 Momenten vloer

Om de momenten in de vloer te berekenen, dient er kennis te zijn van de berekeningen van een elastisch ondersteunde buiglijger. Om deze berekening uit te voeren, wordt gebruik gemaakt van het mechanica boek: Elasto-statica van slanke structuren (Bouma, 2000).

Het vloermoment wordt gereduceerd door de invloed van de bedding. Deze berekening is zodanig uitgebreid en gecompliceerd dat deze buiten de scope van het afstuderen en de lesstof van het HBO valt. Om deze redenen is besloten de berekening alleen kwalitatief te beschouwen en de invloeden van de factoren aan te geven. De berekening wordt niet uitgevoerd. Ook de integratieconstanten worden niet behandeld. Met de handberekening in paragraaf 2.1 is aangetoond dat het SCIA Engineer model correct is.

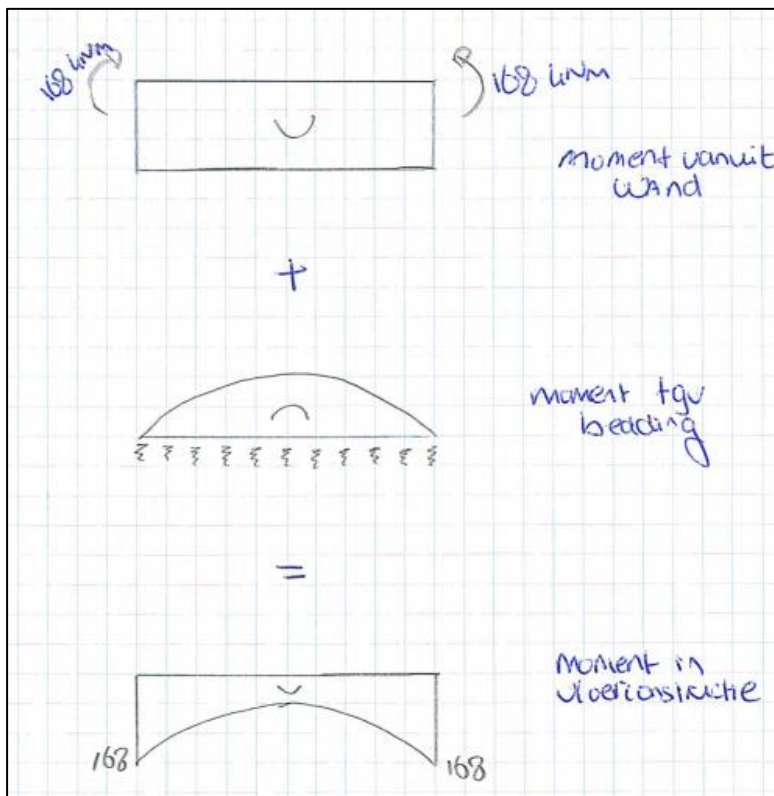
De invloed van de bedding op het vloermoment wordt beschreven door factor β .

$$\beta = \sqrt[4]{\left(\frac{k_s * b}{4 * E * I}\right)}$$

Hierin zijn onderstaande variabele beschreven:

k_s	= Beddingsconstante	[kN/m ³]
b	= Breedte	[m]
E	= Elasticiteitsmodulus	[kN/m ²]
I	= kwadratisch oppervalktemoment	[m ⁴]

Het moment vanuit de wand, wordt doorgezet aan de zijkant van de vloer. Dit is het startpunt van de momentenlijn voor de constructievloer. De invloed van de bedding, welke bepaald wordt met factor β , zorgt voor een moment welke dit vloermoment reduceert. De momentenlijn zal onderstaande vorm aannemen (figuur 2).



Figuur 2: Momenten vloerconstructie

Wanneer de bedding (k_s) groter wordt, wordt factor β groter. Hierdoor neemt het moment ten gevolge van de bedding toe. Omdat dit moment ervoor zorgt dat het vloermoment afneemt, zal het uiteindelijke moment in de vloer kleiner zijn.

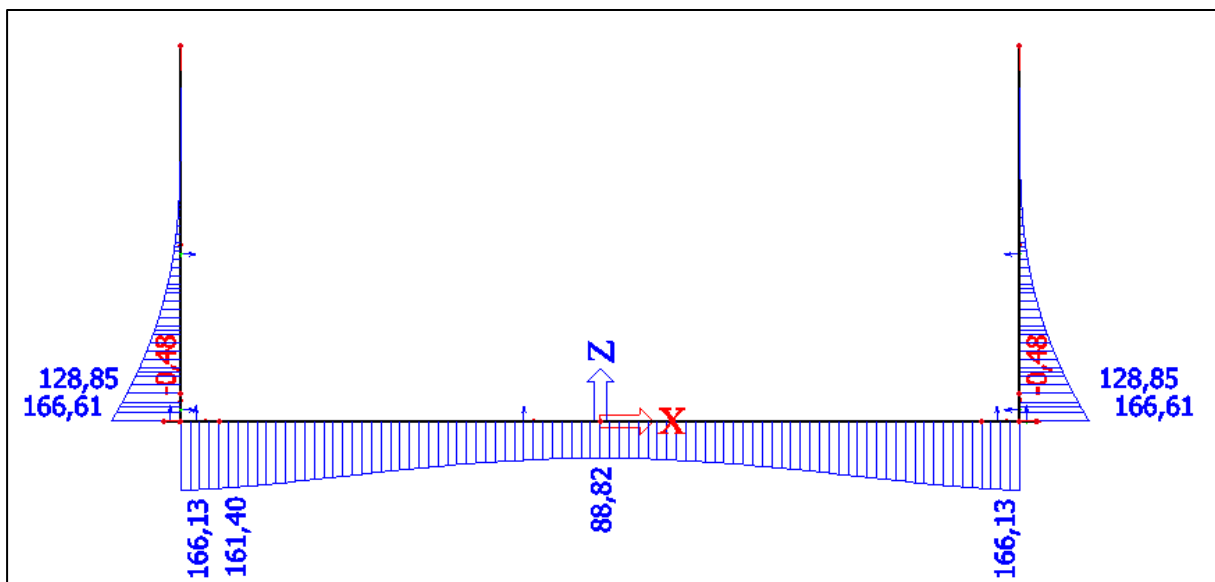
Wanneer de ligger slapper wordt (kleinere EI), zal de factor β groter worden. Hierdoor neemt opnieuw het moment ten gevolge van de bedding toe. Het vloermoment zal opnieuw kleiner worden.

Wanneer de vloer dikker wordt, zal de ligger stijver worden (grotere EI). De factor β zal hierdoor kleiner worden, waardoor het moment ten gevolge van de bedding kleiner wordt. Het vloermoment zal groter zijn.

2.3 Toelichten

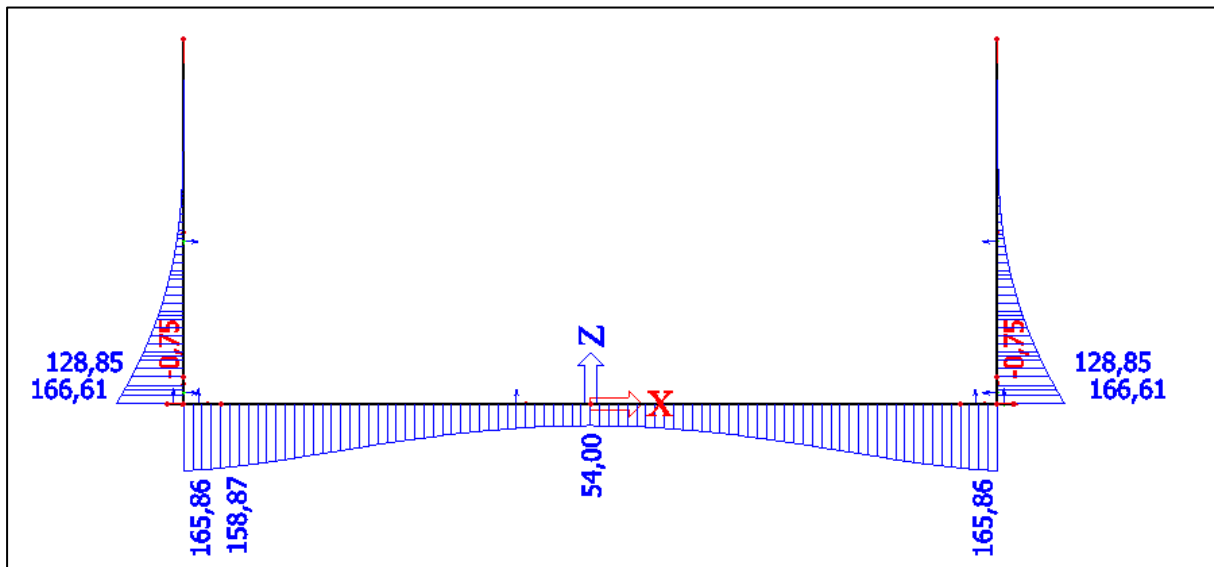
Om het bovenstaande inzichtelijk te maken, is ervoor gekozen om door middel van SCIA Engineer de theorie te bevestigen. Er worden in het model aanpassingen gedaan aan zowel de bedding, als aan de constructievloer. Hierdoor wordt inzichtelijk weergegeven dat het moment toeneemt dan wel afneemt.

De eerste situatie bevat de situatie, welke bij de casus berekend wordt. Hierin is de bedding 10000 kN/m² en de dikte van de vloer 800 mm. Het minimale vloermoment bedraagt 89 kNm (figuur 3).



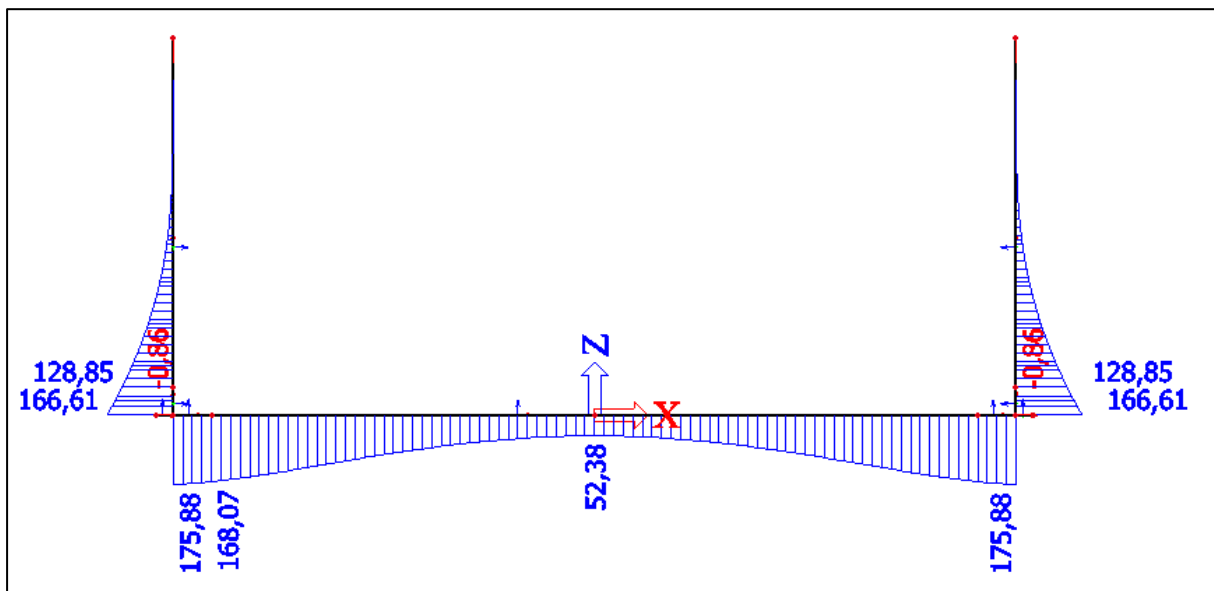
Figuur 3: Situatie casus

In de tweede situatie wordt de bedding verhoogd naar 20000 kN/m³. De vloerdikte wordt gelijk met de eerste situatie gehouden. Het minimale vloermoment bedraagt 54 kNm (figuur 4). Het verlagen van het vloermoment komt overeen met de in paragraaf 2.2 gestelde verwachting.



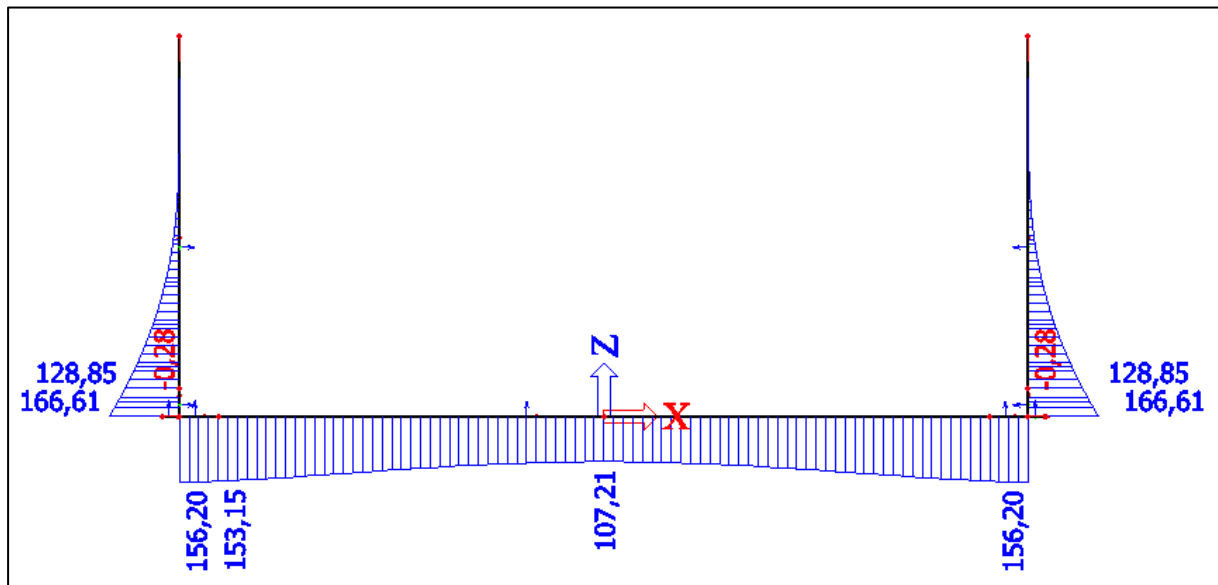
Figuur 4: Situatie 2 (verhoogde bedding)

In de derde situatie wordt de dikte van de vloer verlaagd naar 600 mm. Hierdoor wordt de ligger slapper (kleinere EI). De bedding wordt vanuit de casus gehanteerd. Het minimale vloermoment bedraagt: 52 kNm (figuur 5). Ook deze uitkomst voldoet aan de verwachting.



Figuur 5: Situatie 3 (Dunne constructievloer)

Als laatste wordt de constructievloer dikker gemaakt (1000 mm). Hierdoor wordt de ligger stijver (grotere EI). De bedding blijft gelijk aan de casus. Het minimale vloermoment bedraagt: 107 kNm (figuur 6). Hier is duidelijk weergegeven dat de invloed van de bedding bij een stijvere vloer kleiner is (minder verplaatsing), waardoor het vloermoment groter blijft.



Figuur 6: Situatie 4 (verhogen vloerdikte)

3. Conclusie

Er is aangetoond dat de model in SCIA Engineer voldoet. De wandmomenten komen volledig overeen met de handberekening. De vloermomenten zijn echter afhankelijk van de bedding. Deze berekening valt buiten de lesstof van de HBO opleiding en de scope van het afstudeeronderzoek.

De vloermomenten worden beredeneerd aan de hand van de formules en de lesstof. Deze redeneraties worden onderbouwd met praktische voorbeelden van een aantal situaties.

4. Literatuur

Bouma, A. (2000). *Mechanica van constructies, Elasto-statica van slanke structuren*. Delft: Delft University Press.



ONTWERP EEN OPEN TUNNELBAK IN 10 MINUTEN

Bijlage G

Optimalisatie vloer

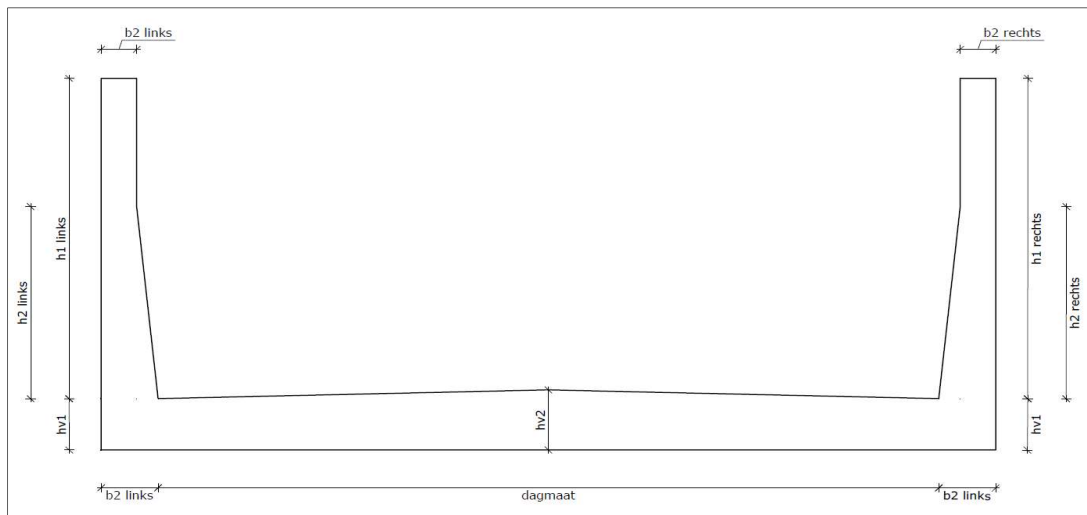




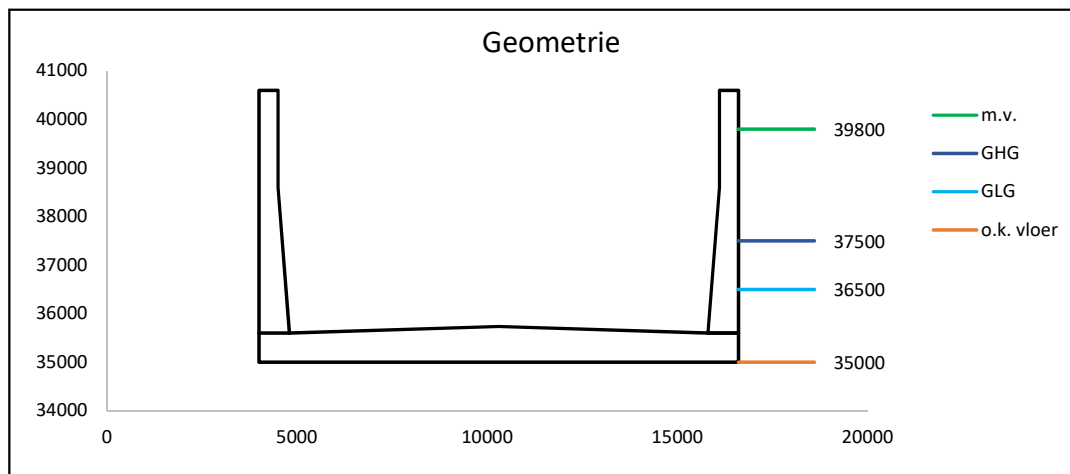
Geometrie tunnelbak (Variant B)

Als eerste wordt de geometrie van de tunnelbak bepaald. In figuur 1.3 is uitleg gegeven over de in te vullen parameters.

Vloerdikte h_{v1}	600	mm	De vloerdikte moet minimaal 300 mm bedragen
Vloerdikte h_{v2}	737	mm	
Breedte dagmaat	11000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 links	5000	mm	
Wandhoogte h_2 links	3000	mm	
Wanddikte b_1	500	mm	De wanddikte moet minimaal 300 mm bedragen
Wanddikte b_2	800	mm	
Wandhoogte h_1 rechts	5000	mm	
Wandhoogte h_2 rechts	3000	mm	
Buitenmaat totaal vloer	12600	mm	
Oorbreedte links	0	mm	
Oorbreedte rechts	0	mm	
Lengte moot	25	m	
Geleiderail/middenberm	Middenberm		
Geleiderail/stepbarrier	Halve stepbarrier		



Figuur 1.3: Invoerwaardes variant B

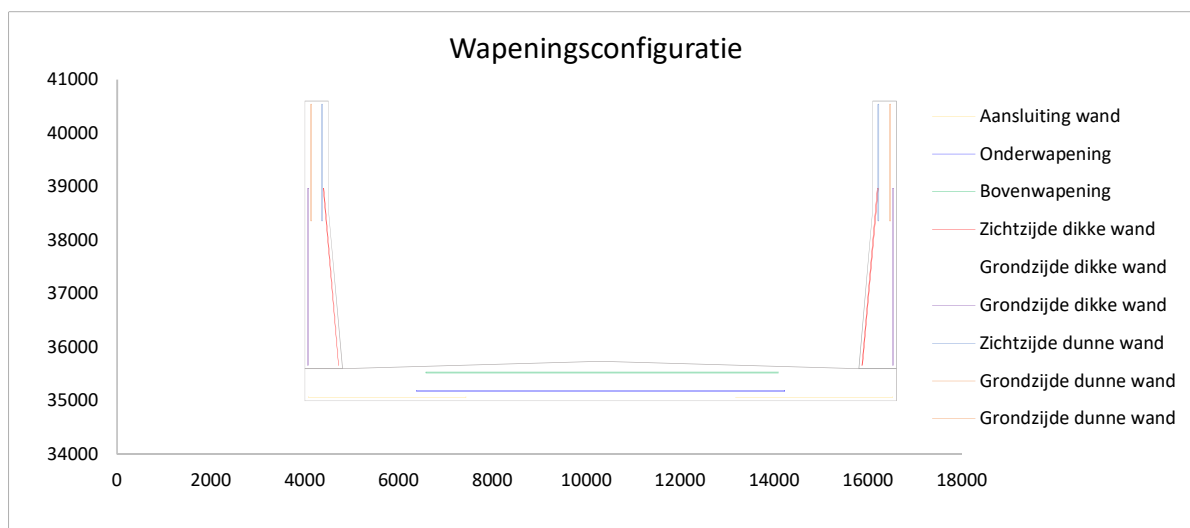


Figuur 1.4: Geometrie tunnelbak variant B

8 Wapeningsresume

In hoofdstuk 5 en 6 is de gehele wapening voor de constructie bepaald. Om de berekende wapening overzichtelijk weergegeven is een wapeningsresumé opgesteld in tabel 8.1. Hierin zijn ook de unity-checks weergegeven.

		Wapening			c _{toe}	ULS	SLS	min. wap.	Correcte berekening	
		Ø	-	h.o.h.	mm	u.c.	u.c.	mm		
Dwarsrichting										
Constructievloer										
Onderzijde	Veld	16	-	130	60	0,93	0,97	0,62	Voldoet	✓
Onderzijde	Aansluiting	20	-	80	60	0,81	0,94	0,22	Voldoet	✓
Bovenzijde	Veld	20	-	90	60	0,04	0,31	0,99	Voldoet	✓
Constructiewanden										
Grondzijde	dikke wand	20	-	100	60	0,69	0,98	0,69	Voldoet	✓
Grondzijde	dunne wand	16	-	300	60	0,37	0,44	0,37	Voldoet	✓
Zichtzijde	dikke wand	16	-	160	60	0,95		0,95	Voldoet	✓
Zichtzijde	dunne wand	16	-	250	60	0,98		0,98	Voldoet	✓
Lengterichting										
Constructievloer										
Onderzijde	Veld	16	-	160	60	0,42	0,99	0,70	Voldoet	✓
Bovenzijde	Veld	16	-	200	60	0,48	0,99	0,99	Voldoet	✓
Constructiewanden										
Gr/Zi	dikke wand	16	-	130	60		0,86	0,97	Voldoet	✓
Gr/Zi	dunne wand	16	-	100	60		0,87	0,79	Voldoet	✓
Dwarskracht										
Vloer		0	-	0		0,60			Voldoet	✓
Wand	dikke wand	0	-	0		0,98			Voldoet	✓
Wand	dunne wand	0	-	0		0,42			Voldoet	✓



Praktische wapening, beugels en haarspelden zijn niet weergegeven in deze wapeningsconfiguratie.

Hoeveelheid wapening

 Volumieke gewicht wapeningsstaal 7850 kg/m³

Constructievloer

	Hoeveelheid			A _s	L _{staaf}	kg _{wap}	L _{moot}	kg _{staal}
				[mm/m]	[m]	[kg/m]	[m]	[kg]
Dwarswapening								
Onderzijde	16	-	130	1547	7,0	85	25	2125
Bijleg	0	-	0	0	0,0	0	25	0
Aansluiting	20	-	80	3927	2,8	86	25	2158
Aansluiting	20	-	80	3927	2,8	86	25	2158
Bovenzijde	20	-	90	3491	7,0	192	25	4795
Bijleg	16	-	130	1547	4,0	49	25	1214
Haarspelden	16	-	130	1547	3,4	41	25	1032
Langswapening								
Onderzijde	16	-	160	1257	25	247	12,6	3107
Bovenzijde	16	-	200	1005	25	197	12,6	2486
Beugels	0	-	0			0	25	0

 Wapening B500B 19075 kg
 Volume beton C35/45 226,7 m³

 kg/m³ wapening 84,2 kg/m³

Wanden

	Hoeveelheid			A _s	L _{staaf}	kg _{wap}	L _{moot}	kg _{staal}
				[mm/m]	[m]	[kg/m]	[m]	[kg]
Dwarswapening								
Grondzijde dikke	20	-	100	3142	4,17	103	25	2x 5142
Zichtzijde dikke	16	-	160	1257	4,17	41	25	2x 2057
Grondzijde dunne	16	-	300	670	2,2	11	25	2x 568
Zichtzijde dunne	16	-	250	804,2	2,2	14	25	2x 682
Haarspelden	16	-	250	804,2	1,0	6	25	2x 309
Langswapening								
Grond & zicht (dik)	16	-	130	3093	25	607	3	2x 3642
Grond & zicht (dun)	16	-	100	4021	25	789	2	2x 3157
Beugels								
Dikke wand	0	-	0	#####		0	25	2x 0
Dunne wand	0	-	0	#####		0	25	2x 0

 Wapening B500B 15557 kg
 Volume beton C35/45 147,5 m³

 kg/m³ wapening 105,5 kg/m³

Totale wapening

 Wapening B500B 34632 kg
 Volume beton C35/45 374,2 m³

 kg/m³ wapening 92,6 kg/m³

