

Vrije eindoplegging van een ligger

ir. P. Legendijk, Aronsohn Constructies raadgevende ingenieurs BV, Rotterdam

ir. R. Roijackers (co-auteur), ABT BV, Velp/Delft/Antwerpen

Van een statisch bepaalde, geprefabriceerde ligger, wordt de detailering van de oplegzone besproken. Aan de hand van een vereenvoudigd rekenmodel komen achtereenvolgens aan de orde de dimensionering van het oplegblok, de oplegging van de ligger op de onderconstructie en de verankering van de wapening. Een tussenlaag tussen balk en oplegging blijkt noodzakelijk.

In de oplegzone van de ligger kan naast verticale belastingen, ook een horizontale belasting ontstaan. Deze wordt veroorzaakt door de wrijving in het oplegmateriaal bij een horizontale verplaatsing van de ligger bij de oplegging. De grootte van deze kracht wordt bepaald door de grootte van de verticale oplegreactie in combinatie met de wrijvingscoëfficiënt van het oplegmateriaal. De richting van de kracht is afhankelijk van de richting van de verplaatsing van de onderzijde van de balk. Door krimpverktorting zal de onderzijde van de balk een verplaatsing naar binnen ondergaan; door verlenging van de getrokken zijde van de balk bij het aanbrengen van de belasting zal een verplaatsing naar buiten ontstaan (fig. 1).

Voor de voorbeeldberekening wordt ervan uitgegaan dat de krimpverktorting van de balk overheerst ten opzichte van de verlenging van de getrokken vezel. De onderzijde van de balk wil derhalve naar rechts verplaatsen ten opzichte van de linker oplegging. Op de onderzijde van de balk grijpt hierdoor een naar links gerichte kracht aan. Dit leidt tot de meest conservatieve benadering. Een positief effect van deze horizontale kracht mag niet in rekening worden gebracht.

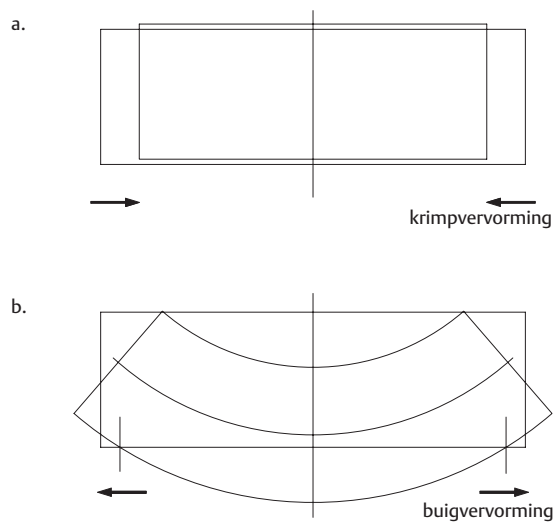
Niet in elke constructie zal de horizontale kracht zich kunnen ontwikkelen. Per geval moet worden vastgesteld of het noodzakelijk is met het negatieve effect van de horizontale oplegreactie rekening te houden.

Rekenmodel

Voor het bepalen van de noodzakelijke verankeringslengte is in de VBC vastgelegd dat met een verschuiving van de momentenlijn rekening moet worden gehouden tot aan de dag van de oplegging. De grootte van de verschuiving is daarbij afhankelijk van de aangehouden hellingshoek van de drukdiagonaal. De grootte van de hoek bij niet-gedrongen liggers mag worden gekozen tussen 30° en 60° (zie toelichting op art. 8.1 van de VBC).

Verankeren is nodig vanaf elke doorsnede van een ligger. De benodigde verankeringslengte hangt af van de staalspanning in de beschouwde snede, waarbij rekening moet worden gehouden met verschuiving van de momentenlijn. Omdat de verschuiving slechts geldt tot de dag van de oplegging, zal de verankeringslengte vanaf de dag in het algemeen maatgevend zijn. De voorgeschreven verschuiving van de momentenlijn vindt zijn oorsprong in het scheurpatroon dat in de oplegzone van een betonconstructie optreedt indien de ligger tot bezwijken wordt belast. In de praktijk zal vrijwel altijd een drukdiagonaal onder 45° worden aangehouden. De staalspanning in de dag van de oplegging wordt dan berekend uit het moment dat optreedt in een snede op een afstand d vanaf de dag.

- 1 | Horizontale verplaatsingen ter plaatse van oplegging
- a. krimpvervorming
- b. buigvervorming



Voorbeeldberekening

Gegevens

- theoretische overspanning: $l = 8$ m;
- breedte: $b = 400$ mm;
- hoogte: $h = 700$ mm;
- sterkteklasse beton:
 - balk B 25;
 - oplegging B 35;
- betonstaal FeB 500;
- buigtrekwapening 5 Ø20, waarvan drie staven doorlopen tot in het oplegvlak;
- beugels Ø8;
- betondekking 30 mm op de kopzijde en 25 mm aan de onderzijde van de balk;
- binnenmilieu, scheurwijdte niet relevant;
- oplegmateriaal: neopreen; gemiddelde reken-druksterkte bij gegeven rotatie 7 N/mm^2 ; wrijvingscoëfficiënt 10%.

Belastingen

De gelijkmatig verdeelde belasting die op de balk aangrijpt ($q_d = 50 \text{ kN/m}$) leidt tot een rekenwaarde van de verticale oplegreactie van 200 kN. De representatieve oplegreactie bedraagt 150 kN. Verder wordt met een rekenwaarde van een horizontale oplegreactie van 20 kN rekening gehouden.

Dimensionering oplegblok

De eerste vraag die bij het ontwerpen van de oplegging moet worden beantwoord, is of er wel of geen tussenlaag (oplegblok) moet worden toegepast. Volgens de VBC 9.14.3 is een tussenlaag noodzakelijk als:

$$a_2 > 25 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{F_{\text{rep}}}{\frac{1}{2} \cdot f'_b \cdot a_b}$$

waarin:

F_{rep} is de representatieve waarde van de oplegreactie;

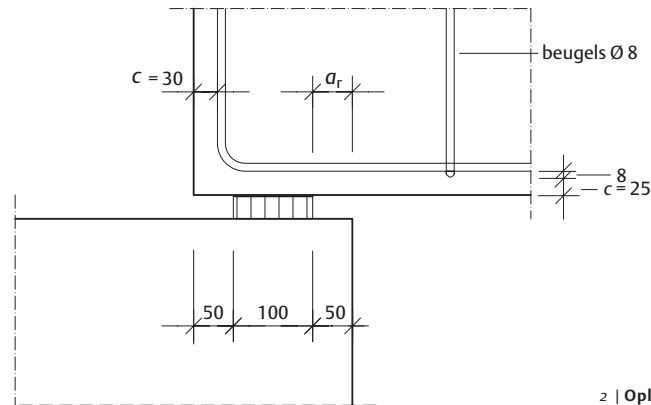
f'_b is de rekenwaarde van de druksterkte van het beton van de ondersteuning of, indien deze kleiner is, de rekenwaarde van de druksterkte van het beton van de ligger;

a_b is de oplegbreedte.

$$a_2 = \frac{150\,000}{\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 400} = 50 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

Conclusie: tussenlaag noodzakelijk.

De exacte afmetingen van de oplegging worden enerzijds bepaald door de druksterkte van het neopreen oplegblok en anderzijds door de druksterkte van het aansluitende beton. Meestal is de sterkte van het oplegblok maatgevend. Bij de detaillering van de oplegging moet ook rekening worden gehouden met de verankering van de wapening.



2 | Oplegging

Voor de breedte van het oplegblok wordt de balkbreedte minus 100 mm aangehouden. Voor de berekening mag ervan worden uitgegaan dat het oplegblok in het hart van de balk ligt.

Minimale lengte neopreen oplegging:

$$\frac{200000}{300 \cdot 7} = 95 \text{ mm, afgerond } 100 \text{ mm (fig. 2).}$$

Oplegging betonconstructie

De opleglengte a van vrije einden van constructiedelen, uitgezonderd wandliggers, die niet één geheel vormen met de ondersteuning en waar een tussenlaag wordt toegepast, moet volgens VBC 9.14.3 voldoen aan:

$$a \geq a_1 + a_r + c$$

waarin:

$$a_1 = \frac{F_d}{\frac{2}{3} \cdot f'_b \cdot a_b}$$

$$a_{1,\text{min}} = 50 + 0,004L$$

a_r is de afstand van de rand van de tussenlaag tot de dag van de oplegging; omdat $a_2 > 25$ mm, mag voor a_r geen grotere waarde dan 25 mm in rekening worden gebracht;

c is de betondekking op de kop van de onderwapening aan het einde van het op te leggen constructiedeel;

a_b is de oplegbreedte;

L is de dagmaat van de overspanning.

$$L = 8000 - 2 \cdot (25 + 50) = 7850 \text{ mm}$$

(VBC, fig. 113)

$$a_1 = 200\,000 / \left(\frac{2}{3} \cdot 15 \cdot 300\right) = 67 \text{ mm}$$

$$a_{1,\text{min}} = 50 + 0,004 \cdot 7850 = 82 \text{ mm}$$

$$a_r = 25 \text{ mm}$$

$$c = 30 \text{ mm}$$

$$a = 82 + 25 + 30 = 137 \text{ mm}$$

$$a_{\text{aanw}} = 25 (a_r) + 100 + 50 = 175 \text{ mm (zie VBC, fig. 113)}$$

Om het risico van afboeren van randen te voorkomen, is in dit rekenvoorbeeld gekozen om de rand van het oplegmateriaal 50 mm vrij te houden van de vrije rand van de betonconstructie (fig. 2). Dit is meer dan de theoretische maximale waarde van a_r (25 mm) die in de VBC wordt aangehouden.

Een grote randafstand verdient vooral aanbeveling indien zich in de constructie zware staven met een grote ombuigingsstraal bevinden. De rand van het oplegmateriaal dient bij voorkeur achter de dekking op de wapening te vallen.

Verankering buigtrekwapening

De nuttige hoogte van de balk bedraagt:

$$d = 700 - 25 - 8 - 10 = 657 \text{ mm.}$$

Het moment moet berekend worden op een afstand d vanuit de dag. Dit is een afstand van $657 + 25 + 100/2 = 732 \text{ mm}$ uit het hart van de oplegging:

$$200 \cdot 0,732 - (0,5 \cdot 50 \cdot 0,732^2) = 133 \text{ kNm.}$$

Bij een geschatte inwendige hefboom van $0,95 d = 0,95 \cdot 657 = 624 \text{ mm}$ is de kracht in de wapening:

$$N_{sd} = 133 / 0,624 = 213 \text{ kN.}$$

De horizontale oplegreactie grijpt aan op de onderzijde van de betonbalk. Hierdoor ontstaat een extra trekkracht in de onderwapening:

$$N_{sd} = 20 \cdot (0,700 - 0,05 \cdot 0,657) / 0,624 = 21 \text{ kN.}$$

De totale trekkracht in de wapening bedraagt dus $213 + 21 = 234 \text{ kN}$.

Deze kracht wordt verankerd vanuit de dag van het oplegvlak. Dit kan op verschillende manieren gebeuren, zoals door het opbuigen van de onderwapening of door een lus- of een haarspeldverankering in het vlak van de onderwapening. Bij VBC 9.11.6 wordt dit toegelicht.

In dit geval wordt ervoor gekozen de onderwapening naar boven toe om te buigen (fig. 3).

Voor de toegepaste 3 Ø20 mm moet de basisverankeringslengte l_{v0} worden bepaald. Omdat de kenmiddellijn van deze enkele staven $\leq 25 \text{ mm}$, is de verankeringslengte l_v gelijk aan de basisverankeringslengte l_{v0} (zie VBC, tabel 50).

Als het spanningsniveau in de wapening ter plaatse van de oplegging niet volledig is uitgenut, mag de verankeringslengte worden gereduceerd.

Door de keuze voor omgebogen staven zal moeten worden getoetst of de aanwezige verankeringslengte na de ombuiging voldoet aan het in VBC 9.6.3 gestelde criterium. Als blijkt dat dit niet het geval is, zal de betonvorm moeten worden aangepast of zal moeten worden gekozen voor een andere detailtering van de verankering.

$$\sigma_{sd} = \frac{N_{sd}}{A_s} = \frac{234000}{3 \cdot 314} = 248 \text{ N/mm}^2$$

$$l_v = l_{v0} = \frac{\alpha_1 \cdot \sigma_k \cdot f_s}{\sqrt{f_b}}$$

$$\alpha_1 = 0,40 (1 - 0,1 c / \sigma_k) \leq 0,24$$

$$= 0,40 (1 - 0,1 \cdot 30 / 20) = 0,34$$

$$l_v = 0,34 \cdot 20 \cdot 435 / \sqrt{15} = 764 \text{ mm}$$

$$l_{vr} = \frac{248}{435} \cdot 764 = 436 \text{ mm}$$

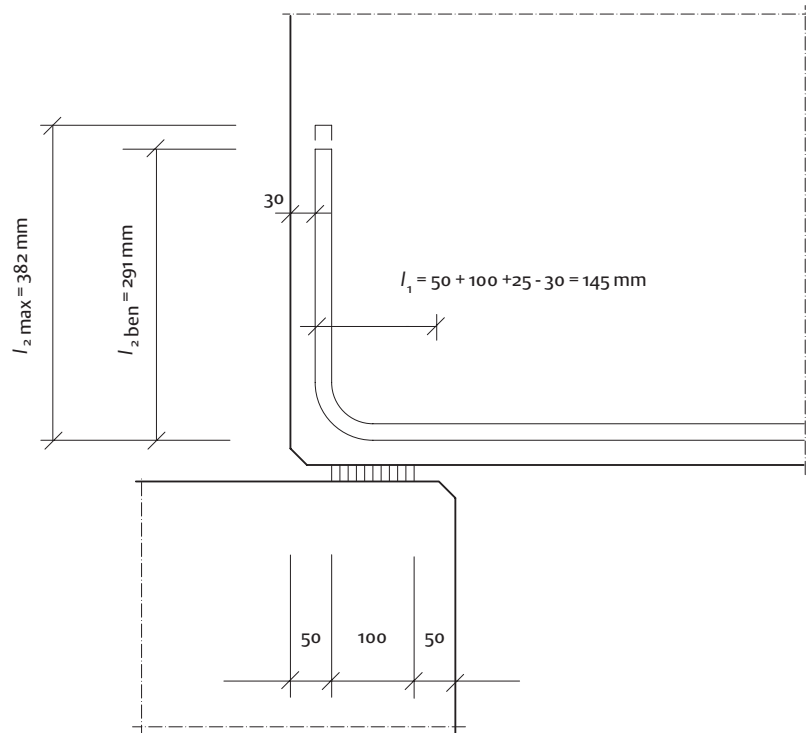
Binnen de gegeven detailtering van de oplegging blijkt dat de verankeringslengte $l_1 = 145 \text{ mm}$. Dit betekent dat de verankeringslengte l_2 minimaal $436 - 145 = 291 \text{ mm}$ moet bedragen.

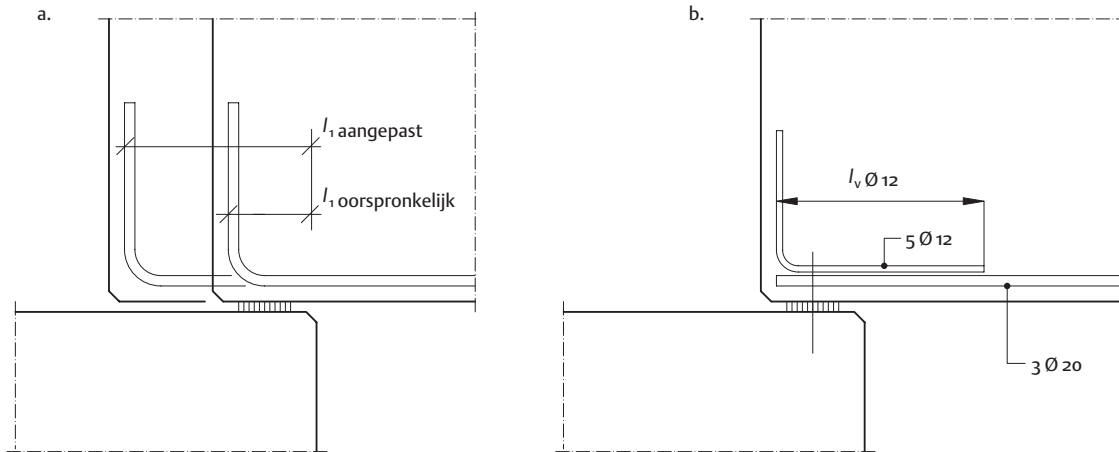
Voor staven $\geq 16 \text{ mm}$ is de toegestane verankeringslengte na de ombuiging echter beperkt tot:

$$l_2 \leq \frac{f_b \cdot r}{150 \cdot \sigma_k} \cdot l_v = \frac{15 \cdot 5 \cdot 20}{150 \cdot 20} \cdot 764 = 382 \text{ mm}$$

De benodigde verankeringslengte achter de ombuiging is dus kleiner dan de toegestane.

3 | Verankering wapening oplegging





- 4 | Alternatieven voor detaillering oplegzone
- a. vergroten l_1 door aanpassen geometrie
 - b. verankeren met dunere staven met voldoende laslengte

Alternatieve oplossingen

Wanneer uit bovenstaande berekening was gebleken dat de benodigde verankeringslengte niet te realiseren was geweest, dan waren er diverse alternatieve oplossingen mogelijk:

- aanpassen van de geometrie van de oplegging waardoor l_1 wordt vergroot (fig. 4a);
- toepassen van wapeningsstaven met $\varnothing_k < 16$ mm, waardoor er geen beperking is voor l_2 (fig. 4b);
- verhogen van de betonsterkteklasse, waardoor de toegestane lengte van l_2 wordt vergroot en de benodigde verankeringslengte l_{vr} wordt verkleind;
- vergroten van de buigstraal van de onderwepening;

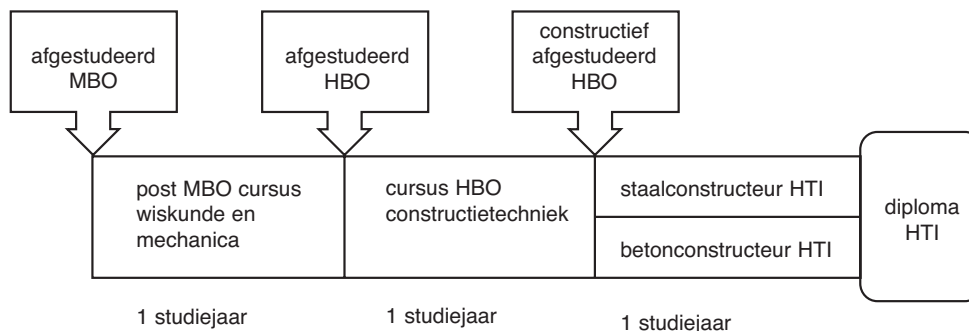
- overdimensioneren van de onderwepening in de oplegzone, zodat een lagere staalspanning optreedt;
- toepassen van luswapening;
- verhogen van de dekking op de wapening om de basisverankeringslengte te reduceren.

Bij het toepassen van ombuigingen waarmee de verankering van de wapening wordt verzorgd, moet aandacht worden besteed aan de detaillering van de ombuiging. De in art. 9.6.3 gegeven voorwaarde leidt in combinatie met de voorgeschreven verschuiving van de momentenlijn tot een verantwoorde detaillering op dit punt. ■

ONTWIKKEL UW KENNIS EN VAARDIGHEID ALS ONTWERPER VAN BOUWCONSTRUCTIES



Het Hoger Technisch Instituut biedt cursussen waarin u werkt aan de basis van uw vakkennis als constructeur en waarin u moderne en veilige constructies leert ontwerpen. U komt alles te weten over moderne ontwerp-hulpmiddelen en toetsmethoden.



De constructieopleiding van het HTI, een essentiële opleiding voor een mooi vak.

Het HTI verzorgt ook cursussen voor bouwkundigen, bouwmanagers en voor calculatie in de bouw. Alle cursussen worden gegeven op zaterdag, éénmaal in de veertien dagen. Zie voor meer informatie en voor aanmelding de website.

Het HTI verzorgt sinds 1939 opleidingen in de bouwsector.

Stichting Hoger Technisch Instituut (HTI)
Krelis Louwenstraat 1, 1055 KA AMSTERDAM
Telefoon 020-684 57 80, telefax 020-688 72 13
www.hti-opleidingen.nl