

Dit artikel is al eerder zonder de toelichting verschenen in het december 2013 nummer van het blad "Bouwen met Staal" en is gebaseerd op een uitgebreid wetenschappelijk document dat is op te halen van: www.bouwenmetstaal.nl onder vakblad – wetenschappelijke artikelen. De toelichtingen zijn cursief en in een kleinere lettergrootte aangegeven.

Bevestigingsmiddelen



Betrouwbaar voorspannen (met toelichting).

De methoden waarmee voorspanbouten worden aangespannen geven al vele jaren reden tot discussie. Naar aanleiding van de komende herziening van NEN-EN 1090-2, waarin een 95%-betrouwbaarheids criterium wordt geëist, is op basis van NEN-EN 1990 een vergelijking opgesteld naar de betrouwbaarheid van de vier in de NEN-EN 1090-2 aangegeven aanspanmethoden. Volgens het betreffende rapport verdient de Moment-hoekmethode de voorkeur.

prof.ir. J. Berenbak

Jacques Berenbak is emeritus hoogleraar Constructief Ontwerpen aan de faculteit Bouwkunde van de TU Delft.

Inleiding

In het Stevin Laboratorium van de Technische Universiteit Delft is in het verleden uitgebreid onderzoek gedaan naar het voorspannen van bouten en volgens de toen geldende criteria beoordeeld. Dit heeft geleid tot de Moment-hoekmethode zoals deze in NEN-EN 1090-2^[1] is opgenomen. Inmiddels wordt de verlangde betrouwbaarheidseis in Annex B van NEN-EN 1990^[2] probabilistisch scherper omschreven, waardoor een toetsing op die eisen noodzakelijk werd. Naar aanleiding van de komende herziening van NEN-EN 1090-2 is op basis van NEN-EN 1990 een vergelijking opgesteld naar de betrouwbaarheid van de vier genoemde aanspanmethoden. Dit rapport is door de betreffende commissie (CEN/TC135) geaccepteerd.

Onvoldoende

Uit het onderzoek blijkt dat de Momentmethode en HRC-methode volgens de huidige beschrijving in NEN-EN 1090-2 niet aan het 95%-betrouwbaarheids criterium van de NEN-EN 1990 voldoen. Om de nauwkeurigheid van het aanspannen te vergroten zal daarom de standaarddeviatie voor de wrijvingsfactor tussen het opgebrachte moment en de voorspanning V_k voor de K2-boutsets van $V_k \leq 0,10$ naar $V_k \leq 0,06$ in de onder handen zijnde herziening van NEN-EN 1090-2 en de EN 14399-serie^[3] worden meegenomen.

Toelichting: Het betreffende rapport is door commissie CEN/TC 135 WG2 "uitvoering van staal- en aluminium constructies" doorgestuurd aan de commissie CEN/TC 185 WG6 "High-strength structural bolting assemblies for Preloading", die de EN 14399 deel 1 t/m 10 beheert. Deze commissie heeft de verlaging van $V_k \leq 0,10$ naar $V_k \leq 0,06$ geaccepteerd, en zal de normen EN 14399-3 "System HR bolting assemblies", EN 14399-4 "System HV bolting assemblies en EN 14399-10 "System HRC bolting assemblies" daarop aanpassen. CEN/TC 135 WG2 heeft inmiddels besloten dat Tabel 20 in de EN 14399-2 tevens zal worden aangevuld met de opmerking dat voor de Moment methode en de HRC methode de $V_k \leq 0,06$ ten hoogste $V_{Fr} \leq 0,06$ moet zijn. De betrouwbaarheid wordt hiermee tot 88,2%. Om tot een betere betrouwbaarheid te komen zou de gemiddeld te bereiken waarde van de voorspanning van $0,77 f_{ub}A_s$ naar $0,80 f_{ub}A_s$ verhoogd moeten worden. Maar dat lijkt nog geen haalbare kaart.

Betrouwbaarheid

De Moment-hoekmethode blijkt verreweg de meest betrouwbare methode waarbij alle boutsets een hoge voorspankracht bereiken. Daardoor blijft bij deze methode, als enige, ruimte over voor relaxatie van de voorgespannen boutverbinding en/of kruip door indrukking van tussenliggende corrosiebeschermende lagen.

Het benodigd gereedschap en de uitvoering zijn eenvoudig, goed te controleren en weinig kritisch voor de te bereiken resultaten. De methode sluit aan op de huidige Nederlandse praktijk, waarbij de andere aanspanmethoden door de meeste overheidsinstellingen en grote ingenieursbureaus niet geaccepteerd worden.

Toelichting. De voorgespannen bouten in de constructiebouw worden voor permanent gebruik aangebracht. Bij een eventuele sloop of demontage van de constructie worden zij moeilijk te verwijderen en ongeschikt voor hergebruikt, waardoor het gebruik van een deel van het vloebereik voor het aanspannen verantwoord is.

Bij werktuigbouwkundige toepassingen wordt er vaak van uit gegaan dat de bouten gedemonteerd en weer hergebruikt kunnen worden. Om hergebruik mogelijk te maken kunnen de bouten niet te veel vloeï verdragen en wordt dan een lagere voorspanning aangehouden.

Om zijn betrouwbaarheid waar te maken vereist de DTI-methode bij het indrukken van de uitstulpingen op de ringen elk een te meten nauwkeurigheid op tienden van millimeters.

Toelichting. Het is de vraag of dat op alle bouwplaatsen haalbaar is.

Beschouwde voorspanmethoden

In NEN-EN 1090-2 worden vier aanspanmethoden beschreven die mogen worden toegepast. De constructeur kan zijn keuze kenbaar maken in zijn uitvoeringsspecificatie.

Hiermee wordt gesuggereerd dat zij bij de huidige aangegeven voorwaarden allen aan een betrouwbaarheid van ten minste 95% voldoen. Uit het statistisch onderzoek in de betreffende rapportage zijn echter de volgende resultaten naar voren gekomen.

<i>Aanspanmethode</i>	<i>Betrouwbaarheid</i>	<i>in</i>	<i>Fig. in</i>
– Moment methode:	79,4 %	Annex fig. 1 en 2	rapport TC135/WG2 D1, D2, D3
– Moment-hoek methode:	100 %	fig. 3	D4
– HRC methode (<i>Wringnek methode</i>):	81 %		D5, D6, D7
– Directe Trekspanningsaanduiding (DTI):	95 % ??		

Toelichting: Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met een relaxatie van de boutsets en menselijke fouten bij het aanspannen.

Toelichting: Volgens EN 14399-9 moeten bij de DTI methode alle gemeten waarden van een serie van 8 testen tussen de 0,70 en 0,84 $f_{ub}A_s$ liggen, waardoor dan aan een betrouwbaarheid van 95% wordt voldaan. Daarbij moeten de nog openstaande spleten tussen de ringen exact aan de gestelde voorwaarden voldoen.

Criteria betrouwbaarheid van voorspannen.

Voor een betrouwbare aanspanning van voorgespannen bouten moet aan de volgende voorwaarden worden voldaan.

- Volgens NEN-EN 1993-1-8 art. 3.9.1 (2)^[4] kan voor de berekeningen van voorgespannen verbindingen worden uitgegaan van een karakteristieke waarde van $F_{p,C} = 0,7 f_{ub}A_s$ per boutset. NEN-EN 1090-2 bevestigt deze waarde in artikel 8.5.1.
- NEN-EN 1990 stelt in Bijlage B dat deze karakteristieke sterkte, uitgaande van een normale statistische verdeling, in ten hoogste 5% van de gevallen onderschreden mag worden.
- Volgens NEN-EN 1090-2 mogen alleen boutsets volgens EN 14399 deel 1 t/m 10 worden toegepast.
- De beschikbare karakteristieke ruimte in de te bereiken voorspankrachten ligt daarmee tussen $0,70 f_{ub}A_s$ en de $0,90 f_{ub}A_s$, waarbij de aandraaihoek na het bereiken van $0,70 f_{ub}A_s$ is beperkt.

Toe te passen boutsets

Volgens artikel 5.6.4 van NEN-EN 1090-2 moeten boutsets in de maten M12 t/m M36 volgens NEN-EN 14399 bestaande uit bout, moer en sluitringen worden toegepast, met de markeringen HR, HV of HRC.

Deze boutsets moeten in een gesloten verpakking worden geleverd in de klasse K2, K1 of K0, waarbij de kenmerken van die klassen op de verpakking vermeld moeten zijn.

Toelichting: De EN 14399-1 is een Europese geharmoniseerde norm die bepaald dat alleen nog de CE gemarkeerde voor te spannen boutsets die voldoen aan de EN 1399 deel 1 t/m 10 in de handel mogen worden gebracht
Bij toepassing van K2 boutsets moet vooraf worden nagegaan of deze boutsets uit voorraad leverbaar zijn, dan wel apart besteld moeten worden.

De EN-14399 dimensioneringsnormen eisen een waarde $F_{p,C} = 0,90 f_{ub}A_s$ voor de minimale (karakteristieke) sterkte van de boutsets onder de combinatie van trek en aandraaimoment. De voorgeschreven karakteristieke curve (ondergrens) tussen de hoekverdraaiing en voorspankracht wordt in de afbeeldingen als basis gebruikt om de resultaten uit het onderzoek te visualiseren. Deze geeft ook aan over welke voortgezette hoekverdraaiing de voorspankracht boven de $0,7f_{ub}A_s$ moet blijven.

Toelichting: De EN 14399-2 geeft in zijn Figuur 2 een curve aan die in de EN 14399-3 en EN 14399-4 nader wordt gepreciseerd. Bij de rotatie θ_{2i} van de moer t.o.v. de steel van de bout valt de curve daar terug op de waarde van $F_p = 0,7 f_{ub}A_s$. Zie AnnexC rapport TC135/WG2. Die correctie op de curve is in de rapportage als uitgangspunt gebruikt.

Tabel 1.

Gebruik HR en HV boutsets, classificaties voor de voorspanmethoden uit NEN-EN 1090-2.

classificatie	kenmerken	eis	voorspanmethoden	alternatief
K2	k_m en V_k	$0,10 \leq k_m \leq 0,23$ en $V_k \leq 0,10$	Momentmethode	
K1	k_i	$10 \leq k_i \leq 0,16$.	Moment- hoekmethode	K2
K0	geen		DTI-methode	K1 of K2
K0	geen	HRD-moer	HRC	K2

Bij het testen tijdens de productie worden voor de boutsets de waarden gemeten van de relatie K_i tussen het via de moer opgebrachte torsie moment en de bereikte voorspanning met de formule $M_{r,2} = K_i \cdot d \cdot F_{p,C}$. Daarbij wordt per charge de gemiddelde waarde K_m met de standaarddeviatie V_k bepaald.

Bij het op moment voorspannen wordt de K_m omgekeerd gebruikt om het op te brengen moment te berekenen. Met de standaarddeviatie V_k kan via de statistische normale verdeling worden nagegaan of de spreiding van de voorspankrachten niet te groot zal zijn voor de te bereiken betrouwbaarheid.

Voorspanprocedures, eerste stap

De vier toegestane voorspanprocedures staan beschreven in hoofdstuk 8.5 van NEN-EN 1090-2. Het aanspannen moet altijd in twee stappen gebeuren.

De eerste stap heeft tot doel om het platenpakket zodanig op elkaar te klemmen dat de bouten elkaar, bij het verdere aanspannen in de tweede stap, door verder indrukken van het platenpakket onderling vrijwel niet meer op voorspankracht zullen beïnvloeden.

In de eerste stap worden de bouten volgens de NEN-EN 1090-2 op $0,525 f_{ub}A_s$ voorgespannen.

Toelichting: De factor 0,525 staat voor 75% (3/4) van de minimaal te bereiken voorspankracht, $0,75 \times 0,7 f_{ub}A_s$. Deze factor 0,75 komt uit een oud Stevin rapport waar de betrokken onderzoekers meenden dat die voldoende zou zijn om de meeste verbindingspakketten te sluiten. Dit is nodig omdat de bouten elkaar bij het aandraaien bij het sluiten van het pakket onderling kunnen beïnvloeden. Het aandraaien in de eerste stap moet daarom in meerdere rondgangen gebeuren.

De factor 0,525 suggereert een onnodige nauwkeurigheid, het sluiten van het pakket voordat de hoekverdraaiing voor de tweede stap plaats vindt is het belangrijkste.

Wanneer het pakket nog onvoldoende op elkaar geklemd is, mag het uit elkaar worden genomen en opnieuw uitgevuld, dan wel gericht worden.

Bij de **Momentmethode** en de **Moment-hoekmethode** wordt de eerste stap op moment gestuurd. De Momentmethode vraagt daarbij om nauwkeuriger aandraag gereedschap.

Toelichting: Bij de Momentmethode worden voor de eerste en tweede stap momentsleutels met een nauwkeurigheid van 4% gevraagd met een regelmatige wekelijkse controle.

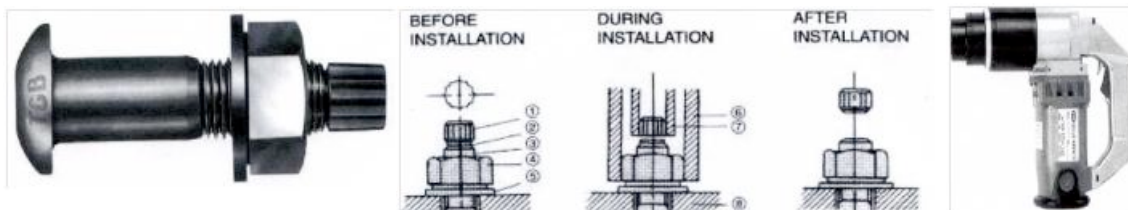
De Moment-hoekmethode vraagt voor de eerste stap een 10% nauwkeurigheid en een jaarlijkse controle. De tweede stap kan met willekeurig gereedschap worden aangebracht

Voor de Moment-hoekmethode staat NEN-EN 1090-2 toe om voor de eerste stap voor alle geleverde K1 bouten de waarde $k_i = 0,13$ aan te houden, wat leidt tot *tabel 2*.

Tabel 2. Aandraaimoment eerste stap Moment-hoekmethode met
 $M_{r,1} = 0,13 \cdot d \cdot 0,525 f_{ub}A_s$ (Nm).

klasse	boutdiameter (mm)							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	55	137	267	365	463	677	918	1608
10.9	69	172	335	455	578	845	1150	2008

Bij de **HRC-methode** moet de leverancier van het geëigende aanspangereedschap aangeven hoe de eerste stap moet worden bereikt. Een nauwkeurigheid of methodiek zijn daarbij niet vastgelegd. Omdat de K_m - of K_i -factoren van deze bouten niet bekend zijn, wordt een controle op de bereikte waarden moeilijk.

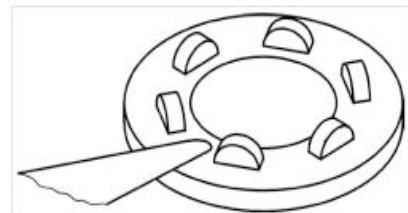
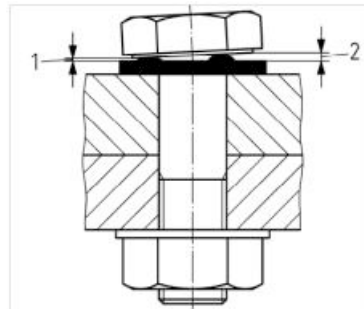


Bij de **DTI-onderlegringen** wordt de eerste stap bereikt bij een lichte indrukking (in tienden millimeters) van de uitstulpingen op de ringen. De ingedrukte uitstulpingen veren niet terug. Bij meervoudig rondgaan bij het aanspannen om het pakket op elkaar te klemmen wordt die indrukking door het herhaaldelijk samendrukken van het pakket moeilijk te controleren. Een relatie indrukking-boutkracht wordt in NEN-EN 14399-9 niet aangegeven.

Toelichting: Voor de DTI methode zijn afzonderlijke ringen beschikbaar voor plaatsing aan de kopzijde van de bout HB gemerkt of aan de moerzijde HN gemerkt.

De hoogte van de uitstulping van een M20 10.9 H.8 DTI ring bedraagt ongeveer 1,5 mm. Na het aanspannen dient bij 90% van de boutsets een spleet 0,25 mm over te blijven. De marge is dus iets meer dan 1,25 mm beschikbaar voor de eerste en tweede stap, te verdelen in meerdere rondgangen.

Om ongecontroleerd doordraaien van de bouten te voorkomen mag ten hoogste 10% van de ringen volledig platgedrukt worden. De leverancier beweert we dat op grond van zijn ervaring dat alle spleten volledig dichtgedrukt mogen worden, maar dat is door de CEN/TC135 WG2 commissie voor de EN 1090-2 niet geaccepteerd.



Toelichting. Meer dan de helft van de tussenruimten moet gesloten zijn voor de maatgevende voelers. (1 is gesloten) De voelers zijn van het type dat gebruikt wordt bij het afstellen van bougies.

Toelichting: De op de verpakking aangegeven waarden voor de spreiding en het gemiddelde zijn bepaald voor de voorspanning die bij het afdraaien van het gespiede einde van de bout bereikt wordt. Het benodigde torsiemoment wordt daarbij niet gemeten.

De HRC methode vraagt om specifiek gereedschap met een forse afmeting. De bouten kunnen hiermee alleen aan de moerzijde worden aangespannen.

Bij te weinig ruimte moet op de Moment methode worden aangespannen.

De bouten dienen dan gekalibreerd te worden volgens Annex H van de NEN-EN 1090-2

Tweede stap in het voorspannen

Momentmethode

Voor de Momentmethode mogen alleen klasse K2-bouten worden toegepast. Op de verpakking staan de k_m en de V_k waarden. Deze waarden moeten volgens NEN-EN 14399 momenteel voldoen aan $0,10 \leq k_m \leq 0,23$ met $V_k \leq 0,10$ (wordt $V_k \leq 0,06$). Deze opgegeven waarden gelden echter uitsluitend bij aandraaien via de moer.

De uiteindelijke voorspankracht wordt bereikt door het op een vooraf berekend moment aandraaien van de moer. De spreiding in de wrijving K_m bij de krachtsoverdracht binnen de boutsets heeft door zijn positie op het steile deel van de overdrachtskromme grote invloed op de uiteindelijke voorspankrachten. In *afbeeldingen 1 en 2* wordt die verdeling langs de verticale as aangegeven.

In de rapportage zijn bij de bepaling van de 'Normale statistische verdeling' de spreidingen in het meet- en spangereedschap meegenomen. De voorspanning dient om een betrouwbaarheid van 95% te bereiken in voldoende mate in het gebied tussen $0,70 f_{ub}A_s$ en $0,90 f_{ub}A_s$ uit te komen. Het blijkt uit de grafiek dat de boutsets tot aanzienlijk vloeien kunnen worden gebracht.

EN 1090-2 accepteert momenteel de waarde $V_k \leq 0,10$ waardoor de 95% betrouwbaarheidsverdeling langs de verticale as van de curve met de waarde van $0,63 f_{ub}A_s$ onder de vereiste voorspanning van $0,70 f_{ub}A_s$ valt. Hierdoor wordt een betrouwbaarheid van 79,4% bereikt waar 95% verlangt wordt. Om de 95% wel te bereiken dient de $V_k \leq 0,10$ verlaagd te worden naar $V_k \leq 0,06$ met verhoging van de gemiddelde waarde van $0,77 f_{ub}A_s$ naar $0,80 f_{ub}A_s$. Over de eerste aanpassing is inmiddels binnen de betreffende commissies overeenstemming bereikt. Bij de Momentmethode is achteraf te controleren of het juiste moment is opgebracht.

Toelichting: Bij aanspannen via de boutkop gelden de K_m waarden op de verpakking niet meer en moet deze waarde volgens Annex H van NEN-EN 1090-2 bepaald worden met behulp van een boutkrachtmeter.



HRC-methode

De HRC-methode is in principe gelijk aan de Momentmethode. Het aandraaimoment wordt bepaald door het op torsie afbreken van de gespiede uiteinden aan de bouten, de zogeheten wringnek. Volgens EN 14399-10 dient de producent de voorspankracht bij breuk van de wringnek in te stellen op een gemiddelde waarde van $0,77 f_{ub}A_s$ met een $V_k \leq 0,10$. Ook hier wordt de $V_{Fr} \leq 0,10$ bijgesteld naar $V_{Fr} \leq 0,06$.

De HRC-methode is achteraf niet te controleren, omdat het op te brengen moment niet bekend is. Bij twijfel, vooraf testen volgens Annex H van NEN-EN 1090-2.

Toelichting: Gebruikelijk worden K0 bouten toegepast wat wil zeggen dat de K_m factor, voor het bepalen van het torsie moment voor aandraaien over de moer, niet gegeven wordt. Bij aanspannen

via de moer of de boutkop moet daarom de K_m waarde volgens Annex H van NEN-EN 1090-2 bepaald worden.

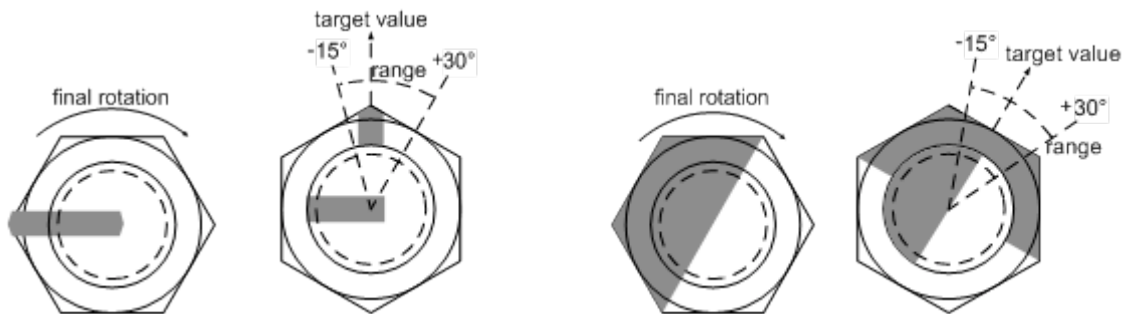
Moment-hoekmethode.

Nadat is vastgesteld is dat het te verbinden pakket voldoende op elkaar is geklemd is, worden de boutsets op een zodanig wijze met krijt of verf gemerkt dat de hoekverdraaiing tussen de moer en de boutsteel duidelijk te volgen is. Vervolgens wordt de aangegeven hoekverdraaiing volgens tabel 21 van NEN-EN 1090-2 met willekeurig gereedschap aangebracht.

Hiermee wordt de bout beheerst naar de maximale waarde in het vloeigebied getrokken zoals in *afbeelding 3* langs de horizontale as is aangegeven.

Deze hoek is voor 100% van de aangespannen bouten snel, eenvoudig en betrouwbaar visueel te controleren, waarbij een spreiding in de hoekverdraaiing van 45° is toegestaan. Omdat de spreiding op het horizontale deel van de curve valt, heeft deze weinig invloed op de voorspanning. Alle bouten worden zo op een hoge voorspanning gebracht. Het vloeien van de bouten is daarbij niet groter dan ook bij de Momentmethode verwacht kan worden. Daarmee wordt ruimschoots aan de vereiste 95%-betrouwbaarheid van NEN-EN 1990 voldaan.

Voorbeelden merken Moment-hoekmethode



DTI-methode

Bij een juiste indrukking van de uitstulpingen op DTI-ringen als gegeven in Bijlage J van NEN-EN 1090-2 worden de waarden van de voorspanning volgens NEN-EN 14399-9 met een voldoende betrouwbaarheid tussen de waarde van $0,70 f_{ub}A_s$ en $0,84 f_{ub}A_s$ bereikt. Bijlage J van NEN-EN 109-2 geeft de te volgen werkwijze aan.

Bij het aanspannen van de boutsets op de werkplek dient uiteindelijk een spleet van minder dan 0,25 mm over te blijven, waarbij deze bij niet meer dan 10% van de bouten geheel gesloten mag zijn. Bij een spoed van de draad met 3 mm per gang betekent dit een kleinere marge dan 30° op de aandraaihoek, waarbij tijdens het aandraaien geen duidelijke indicaties beschikbaar zijn.

De vraag is of deze nauwkeurigheid in de werkplaats of op montage bereikt kan worden.

Of de bouten uiteindelijk op de juiste spanning staan is niet na te gaan, omdat bij de toegestane K0-boutsets de k_m of k_t waarden niet bekend zijn. Bij twijfel, een aantal DTI's vooraf laten testen.

Toelichting Omdat de uitstulpingen op de DTI onderleg ringen bij ontlasten niet terugveren is niet na te gaan welke belasting nog aanwezig is. Bij de DTI methode mogen K2, K1 of K0 bouten worden toegepast.

Bij K2 bouten wordt de K_{m2} waarde met een spreiding $\leq 0,6$ op de verpakking gegeven. De bereikte voorspanning zou dan gecontroleerd kunnen worden met een sleutel die op het moment is afgesteld zoals verlangd wordt bij de Moment-methode.

K1 boutsets worden geleverd met $1,0 \leq K_{m1} \leq 1,6$. Deze spreiding is te groot om toe te passen voor de controle van de tweede stap van het aanspannen.

Bij de K0 bouten wordt geen K_m gegeven. Bij K1 en K0 bouten zou de K_{m2} eventueel via Annex H bepaald kunnen worden, maar deze bouten zijn niet hier niet voor geproduceerd.

Smering

De uiteindelijke resultaten bij het voorspannen volgens de Moment- en HRC-methode zijn sterk afhankelijk van de kwaliteit van de smering. Die kan tijdens de opslag van de bouten verouderen. Bij twijfel dient men dit te testen volgens Bijlage H van NEN-EN 1090-2.

Conservering

Bij de definitieve conservering dienen de resterende spleten bij de DTI methode goed opgevuld te worden om spleetcorrosie en/of corrosie aan de boutsteel te voorkomen.

Bij de HRC methode moet extra aandacht worden besteed aan de ruwe afbreukvlakken van de gespleede eindstukken.

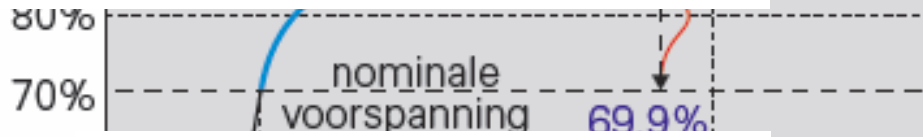
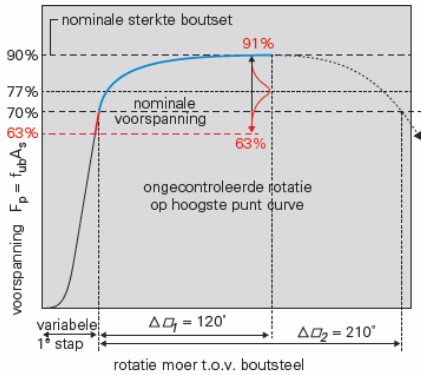
Literatuur

1. NEN-EN 1090-2 (Het vervaardigen van staal- en aluminiumconstructies - Deel 2: Technische eisen voor staalconstructies), 2008 + A1, 2011.
2. NEN-EN 1990 (Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp), 2011 + A1/C2, 2011 + NB, 2011.
3. NEN-EN 14399 (Verbindingen met hoge voorspanning voor staalconstructies – deel 1 t/m 10), 2005-2013.
4. NEN-EN 1993-1-8 (Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen), 2009 + C2, 2011 + NB, 2011.

— nominale sterkte boutset

Annex met de figuren uit het artikel in Bouwen met staal.

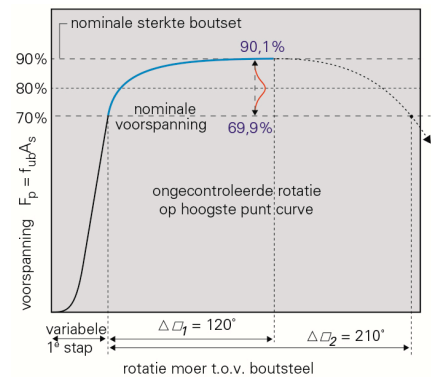
De originele figuren met onderbouwing zijn terug te vinden in de rapportage aan TC135 WG2



Figuur 1

Moment methode

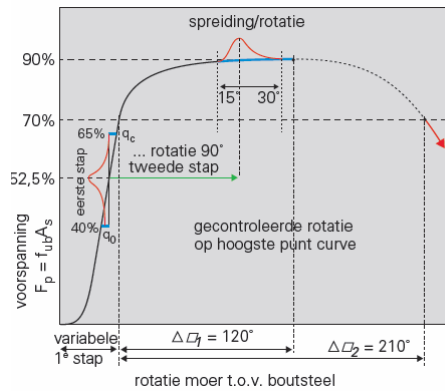
Standaardafwijking "wrijving"	$V_k = 0,10$
Richtwaarde voorspanning	$0,77 f_{ub} A_s$
Betrouwbaarheid	79,4 %



Figuur 2

Moment methode

Standaardafwijking "wrijving"	$V_k = 0,06$
Richtwaarde voorspanning	$0,80 f_{ub} A_s$
Betrouwbaarheid	94,2 %



Figuur 3

Moment methode

"wrijving" 1 ^e stap	$0,10 \leq k_i \leq 0,16$
Richtwaarde voorspanning	$\geq 0,70 f_{ub} A_s$
Betrouwbaarheid	100 %