

TECHNISCHE VOORSCHRIFTEN	PTV	309
	VERSIE 5	2024/04

## BETONSTAAL

### MECHANISCHE VERBINDINGEN VAN BETONSTAAL

De geldige versie is beschikbaar op de website van PROCERTUS.

Gebruik onderstaande QR-code:



## WOORD VOORAF

Op 01.04.2024 zijn de vzw's PROBETON, BE-CERT, OCAB-OCBS en PROCERTUS gefusioneerd overeenkomstig artikel 13 van het wetboek van vennootschappen en verenigingen. Op die datum werden PROBETON, BE-CERT en OCAB-OCBS van rechtswege ontbonden en werden al hun rechten en verplichtingen overgebracht op PROCERTUS, die als enige hun activiteiten verderzet.

## 1 VOORWOORD

Deze Technische Voorschriften (PTV<sup>1</sup>) van PROCERTUS, voor het eerst opgesteld door het Technisch Bureau 1 "Gewapend betonstaal" van de vzw OCBS, worden beheerd door PROCERTUS als Sectorale organisatie, met het oog op de standaardisering en de certificering van de door deze voorschriften betroffen staalproducten.

Volgens het Reglement op het gebruik en het toezicht op het gebruik van het BENOR-merk<sup>2</sup> en zijn artikel 8, vormen deze Technische Voorschriften de technische referentiespecificaties voor het BENOR-merk.

De overeenkomstigheid betreft de specificaties van de normenreeks NBN A 24-301 tot 304, rekening houdend met de verduidelijkingen, wijzigingen en aanvullingen beschreven in de onderhavige Technische Voorschriften.

## 2 TE RAADPLEGEN DOCUMENTEN

- NBN A 24-301 (1986), Staalproducten - Betonstaal - Staven, draden en gelaste wapeningsnetten - Algemeenheden en gemeenschappelijke voorschriften
- NBN A 24-302 (1986), Staalproducten - Betonstaal - Gladde en geribde staven - Gladde en geribde walsdraad
- NBN A 24-303 (1986), Staalproducten - Betonstaal - Gladde en geribde koudvervormde draad. Inbegrepen Addendum I (1990)
- NBN EN ISO 15630-1, Staal voor de wapening en voorspanning van beton - Beproevingmethoden Deel 1: Staven, draad en draad voor gewapend beton
- ISO 15835-1:2018, Steels for the reinforcement of concrete – Reinforcement couplers for mechanical splices of bars - Part 1: Requirements
- ISO 15835-2:2018, Steels for the reinforcement of concrete - Reinforcement couplers for mechanical splices of bars - Part 2: Test methods
- PTV 302, Geribde warmgewalste staven en draad
- PTV 303, Gewapend betonstaal - Geribde koudvervormde draad
- PTV 307, Gewapend betonstaal - Geribde warmgewalste staven: alternatief profiel
- NBN EN 1992-1-1:2005 EUROCODE 2, Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
  - +AC:2010
  - + ANB:2010 EUROCODE 2, Nationale bijlage (ANB) die de toepassingsvoorwaarden van de norm NBN EN 1992-1-1:2005 in België bepaalt.

---

<sup>1</sup> Prescriptions techniques - Technische Voorschriften

<sup>2</sup> Referentie vzw BENOR: NBN/RVB.CA/RM2012-10-02 of volgens de laatst geldende versie

### 3 TOEPASSINGSGEBIED

Onderhavige Technische Voorschriften (PTV) vermelden de eisen waaraan mechanische verbindingen van betonstaal (of wapeningskoppelingen) moeten voldoen voor de verbinding van stalen staven voor gewapend beton.

Ze beschrijven de eisen waaraan de mechanische verbindingen in gewapende betonstructuren moeten voldoen bij hoofdzakelijk statische belasting<sup>3</sup>. Tevens zijn er bijkomende eisen opgenomen voor verbindingen die gebruikt worden in structuren die onderworpen worden aan vermoeiing met een groot aantal cycli binnen het elastisch gebied zoals voorzien in EUROCODE 2.

### 4 BEGRIPPEN EN DEFINITIES

De begrippen en definities zijn:

- Karakteristieke Elasticiteitsgrens  $R_e$ 
  - zijnde de gespecificeerde zichtbare of conventionele elasticiteitsgrens van de wapeningsstaaf ( $R_{eH, spec}$  volgens ISO 15835)
- Mechanische verbinding
  - compleet geassembleerde verbinding bestaande uit de te verbinden wapeningen en uit een verbindingsstuk of een eindanker met inbegrip van elk aanvullend intermediair materiaal of andere elementen om de verbinding te verzekeren.
- Verbindingsstuk
  - aansluitmof of geschroefd koppelingsmechanisme bestemd voor mechanische verbindingen van wapeningsstaven met als doel de overdracht te verzekeren van een axiale trek en/of een axiale druk van een staaf aan de andere waarin
    - de aansluitmof een hulpstuk is dat zich aanpast aan het einde van de wapeningsstaaf,
    - het geschroefd koppelingsmechanisme een geschroefd hulpstuk is om wapeningsstaven met vergelijkbare schroefdraad te verenigen.
- Lengte van het verbindingsstuk  $L_1$ 
  - werkelijke lengte van het verbindingstuk ("koppelingsmechanisme"), namelijk vanaf de eerste visuele verandering van de wapeningstaaf aan een einde van het verbindingsstuk tot het equivalent aan het ander einde van het verbindingsstuk
- Lengte van de mechanische verbinding  $L$ 
  - lengte van het verbindingsstuk plus twee maal de nominale doorsnede<sup>4</sup> van de staaf aan beide einden van het verbindingsstuk (NOTA: Dit is een conventionele definitie om, op approximatieve wijze, met de beïnvloede zone rekening te houden).
- Slip
  - blijvende verlenging van de mechanische verbinding na een proef bestaande uit een belasting tot een bepaald lastniveau gevolgd door ontlasting.
- Meettoestel van slip
  - Samenstelling van de extensometer en elk systeem om het vast te maken aan de mechanische verbinding.

---

<sup>3</sup> De mechanische verbindingen die in deze PTV beschreven worden, zijn niet geschikt voor de herverdeling van momenten volgens rekenregels van de EUROCODE 2.

<sup>4</sup> Maximumdiameter in het geval van verbindingen tussen staven met verschillende diameters

## 5 CATEGORIEËN VAN VERBINDINGEN

Tabel 1 geeft de verschillende categorieën van verbindingstukken in de mechanische verbindingen van betonstaal weer, zoals ze worden beschreven in deze PTV, samen met een referentie naar de overeenkomstige paragrafen waar de eisen en proefmethodes voor de overeenkomstige eigenschappen worden beschreven.

**Tabel 1 - Categorieën van verbindingstukken in mechanische verbindingen**

<b>Categorie</b>	<b>Beproefde eigenschap</b>	<b>Verwijzing naar § van PTV 309 voor deze eigenschap</b>
B (Basis of zonder aanduiding)	Sterkte, ductiliteit en slip bij statische belasting	6.1, 6.2
FX (vermoeiing)	Zoals B + Vermoeiing bij een groot aantal belastingscycli	Zoals B + 6.3
S (seismisch)	Zoals B + Seismische belasting	Zoals B + 6.4

## 6 PRODUCTSPECIFICATIES EN PROEFMETHODES

De technische eisen voor verbindingstukken betreffen de volgende eigenschappen (waarbij a en b verplicht zijn, c enkel voor categorie FX van toepassing is en d voor categorie S):

- Sterkte en ductiliteit bij statische belasting
- Slip bij statische belasting
- Eigenschappen bij vermoeiing aan een groot aantal belastingscycli en in het elastisch gebied
- Eigenschappen bij seismische belasting.

**Indien koppelingen worden gebruikt om staven van verschillende diameter samen te voegen, moeten de sterkte- en ductiliteitseisen gebaseerd zijn op de kleinste diameter van de staaf.**

De proeven voor deze eigenschappen dienen te worden uitgevoerd overeenkomstig hoofdstuk 7.

### 6.1 Sterkte en ductiliteit bij statische belasting

De sterkte en ductiliteit van de mechanische verbinding dienen te worden geverifieerd zodat er wordt voldaan aan de eisen die worden beschreven in § 6.1.1 en 6.1.2.

#### 6.1.1 Sterkte

De treksterkte van de mechanische verbinding dient minstens gelijk te zijn aan de  $R_m$  waarde die gespecificeerd is in PTV 302, 303 of 307.

De trekproef op de delen van de koppeling of de samengestelde koppeling is bepalend:

- Het resultaat van de trekproef is bevredigend indien de breuk zich voordoet buiten de lengte van de mechanische verbinding "L"<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Zie definitie in §4 van dit document

- Indien de breuk zich voordoet binnen de lengte van de mechanische verbinding "L", kan het resultaat van de trekproef als bevredigend worden aanzien indien de in de PTV 302, 303 of 307 aangegeven waarden ( $R_m$ ) voor het beproefde betonstaal worden gerespecteerd.

### 6.1.2 Ductiliteit

De maximale waarde van  $A_{gt}$  gemeten (over een basis van minimum 100 mm) op de twee wapeningsstaven<sup>6</sup> en buiten de lengte van de verbinding "L" conform aan NBN EN ISO 15630-1 mag niet kleiner zijn dan de in de PTV 302, 303 of 307 aangegeven waarden voor het beproefde betonstaal.

## 6.2 Slip bij statische belasting

De blijvende vervorming (slip) die gemeten wordt na een proef, bestaande uit een trekproef tot minstens het niveau van  $0,6R_e$ , en gevolgd door het ontlasten, moet hieraan voldoen:

- Geen enkele individuele waarde in een gevalideerde proef mag groter zijn dan 0,20 mm
- De mediaan van de individuele waarden in de gevalideerde proeven dient kleiner of gelijk te zijn aan 0,10 mm
- Voor de mechanische verbindingen met meer dan één verbinding, is de slip in elke verbinding bepalend.

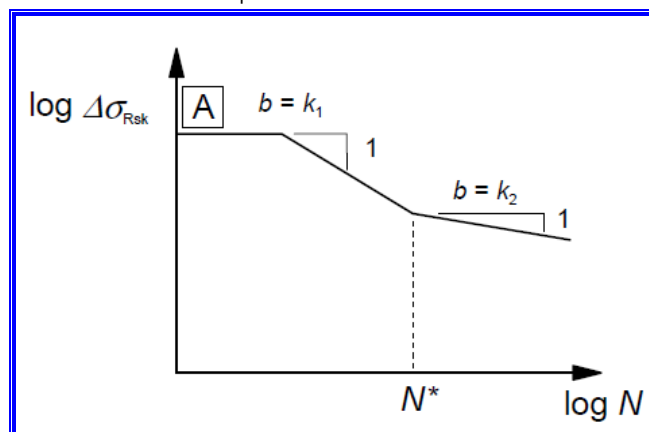
De validatie van de proeven dient te worden uitgevoerd overeenkomstig hoofdstuk 7.

De meting van de slip wordt uitgevoerd volgens de voorschriften van hoofdstuk 7.

## 6.3 Eigenschappen bij vermoeiing aan een groot aantal belastingscycli

### 6.3.1 Kenmerken van vermoeiingssterkte

De prestaties in vermoeiing zijn minstens gelijk aan deze die in de EUROCODE 2<sup>7</sup> worden gespecificeerd, die beschrijft dat de beschadiging voor een cyclus met een wisselingsamplitude  $\Delta\sigma$  bepaald kan worden met behulp van de S-N krommen voor het betonstaal en het voorspanstaal.



Figuur 1: Vorm van de karakteristieke vermoeiingskromme (S-N kromme voor betonstaal en voorspanstaal)

<sup>6</sup> In het geval van verbindingen van staven met verschillende diameter, wordt enkel de staaf met de minimale diameter beschouwd.

<sup>7</sup> Hoofdstuk 6.8.4. "Toetsingsprocedure voor beton- en voorspanstaal" (EN 1992-1-1 volgens hoofdstuk 2)

### 6.3.2 Prestaties gelijk aan deze van EUROCODE

De waarden van de parameters voor de S-N krommen voor betonwapeningen worden in de volgende tabel 2 gegeven:

**Tabel 2: Parameters van de S-N Krommen volgens EUROCODE 2**

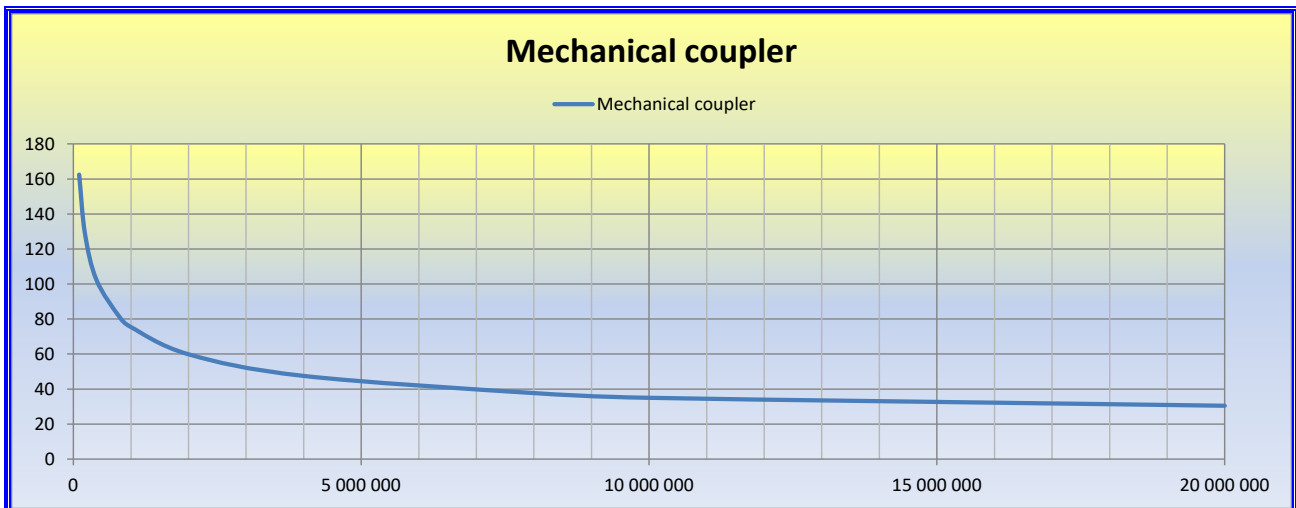
Type wapening	$N^*$	Spanningsexponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa) bij $N^*$ wisselingen
		$k_1$	$k_2$	
Rechte en gebogen staven <sup>1</sup>	$10^6$	5	9	162,5
Gelaste staven en wapeningsnetten	$10^7$	3	5	58,5
Koppelingen	$10^7$	3	5	35

OPMERKING 1 Waarden voor  $\Delta\sigma_{Rsk}$  zijn die voor rechte staven. Waarden voor gebogen staven behoren te zijn verkregen door gebruikmaking van een reductiefactor  $\zeta = 0,35 + 0,026 D / \phi$ .

waarin:

- $D$  doorndiameter
- $\phi$  staafdiameter

De vermoeiingskromme volgens deze methode toepasbaar op mechanische verbindingen wordt hieronder getoond:

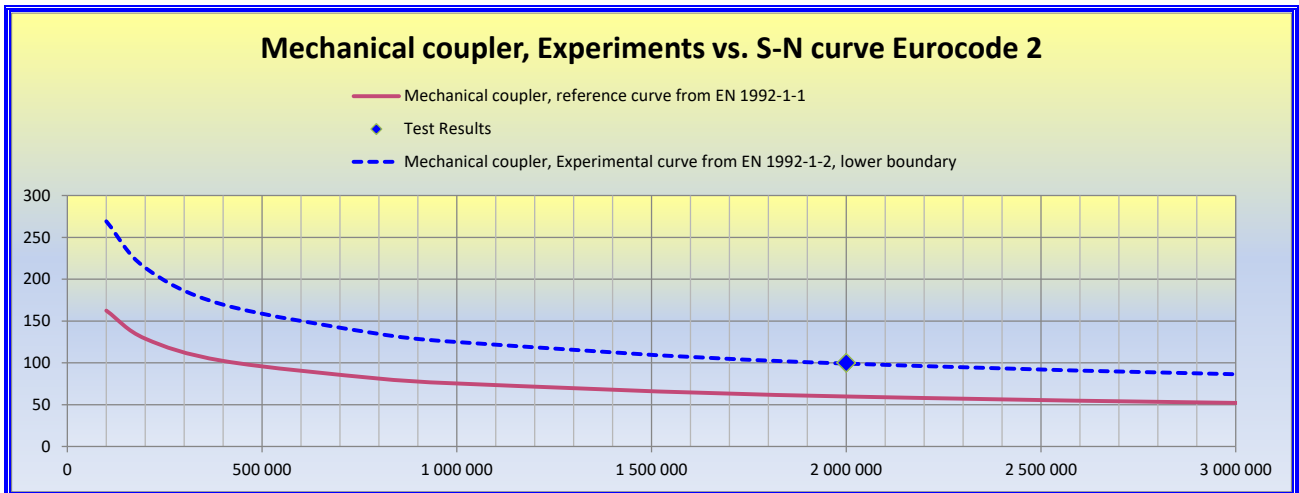


Figuur 2: Vorm van de karakteristieke kromme van vermoeiingssterkte van een mechanische verbinding volgens EUROCODE 2

### 6.3.3 Prestaties hoger dan deze van EUROCODE

Hogere vermoeiingskenmerken kunnen door de fabrikant aangevraagd worden. De fabrikant moet dan de waarde  $\Delta\sigma$  verklaren die voor twee miljoen cycli toepasbaar is. In dit geval wordt de typische vermoeiingskromme naar de adequate waarde aangepast met gebruik van het EXCEL rekenblad « **Requirements Fatigue EN 1992-1-1** », dat in deze PTV bijgevoegd is (zie hoofdstuk 8).

Het voorbeeld hieronder toont een kromme voor een waarde van  $\Delta\sigma$  van 100 MPa voor twee miljoen cycli.



Figuur 3: Voorbeeld met een waarde van  $\Delta\sigma$  van 100 MPa voor twee miljoen cycli

### 6.3.4 Categorieën van mechanische verbindingen

#### 6.3.4.1 Mechanische verbindingen van categorie F1

De mechanische verbindingen van categorie F1 moeten zonder breuk een vermoeiingsbelasting doorstaan **van minstens twee miljoen cycli** met een spanningswisseling  $\Delta\sigma$  **van minstens 60 MPa**. De maximale spanning  $\sigma_{\max}$  bij de proef is gelijk aan  $0,6 R_e$ .

#### 6.3.4.2 Mechanische verbindingen van categorie F2

De mechanische verbindingen van categorie F2 moeten zonder breuk een vermoeiingsbelasting doorstaan **van minstens twee miljoen cycli** met een spanningswisseling  $\Delta\sigma$  volgens de tabel 3 hieronder, aangevuld in functie van de prestaties waarop de fabrikant aanspraak maakt, deze prestaties moeten hoger liggen dan deze van categorie F1. De maximale spanning  $\sigma_{\max}$  bij de proef is gelijk aan  $0,6 R_e$ .

Tabel 3: Categorie F2

Diameter « D » (mm)	$\Delta\sigma$ (MPa)
$D > 32$	NN1 (>60)
$28 < D \leq 32$	NN2 (>60)
$25 < D \leq 28$	NN3 (>60)
$20 < D \leq 25$	NN4 (>60)
$16 < D \leq 20$	NN5 (>60)
$D \leq 16$	NN6 (>60)

#### 6.3.4.3 Mechanische verbindingen van categorie F3

De mechanische verbindingen van categorie F3 moeten zonder breuk een vermoeiingsbelasting doorstaan **van minstens twee miljoen cycli** met een spanningswisseling  $\Delta\sigma$  volgens de tabel 4 hieronder. De maximale spanning  $\sigma_{\max}$  bij de proef is gelijk aan  $0,6 R_e$ .

**Tabel 4: Categorie F3**

<b>Diameter « D » (mm)</b>	<b><math>\Delta\sigma</math> (MPa)</b>
$28 < D \leq 32$	64
$25 \leq D \leq 28$	72
$20 \leq D \leq 22$	88
$16 \leq D < 20$	106
$D = 12$	148

## 6.4 Eigenschappen bij seismische belasting

De eisen voor mechanische verbindingen die worden onderworpen aan trek- en drukproeven die een aardbeving simuleren, zijn

- de gemiddelde residuele verlenging na de eerste 20 cycli  $u_{20}$  mag niet meer dan 0,3 mm bedragen van de verlenging van de referentiestaaf (zonder mechanische verbinding) beproefd op dezelfde manier
- de mechanische verbinding mag enkel breken in fase 4 van de proef
- de treksterkte bij breuk moet hoger zijn dan de waarde  $R_m$

## 6.5 Markering en traceerbaarheid

Elk onderdeel van de verbinding dient op een duurzame en leesbare manier gemarkeerd te zijn (bv. geponst) met de identificatie van de producent, het type (categorie) en een markering die toelaat om het overeenkomstige lot te traceren. Elke verbinding moet toelaten om terug te keren tot de productiegegevens.

## 6.6 Toepassingsinstructies

De leverancier dient de nodige instructies te geven die duidelijk de toepassing en het gebruik beschrijven. De werkwijze beschreven in de gebruiksinstructies moet realiseerbaar zijn in werfomstandigheden

# 7 BEOORDELINGSMETHODEN VAN DE MECHANISCHE VERBINDINGEN

## 7.1 Algemeen

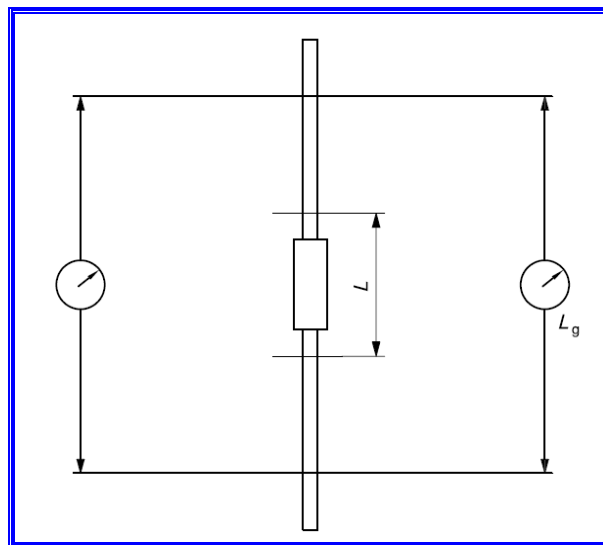
Alle proeven moeten uitgevoerd worden op mechanische verbindingen die samengesteld worden op dezelfde wijze als voor een normaal gebruik. Het proeflaboratorium moet over de gebruiksinstructies van de koppelingen beschikken.

De proefmethoden die door onderhavige PTV gedekt worden zijn:

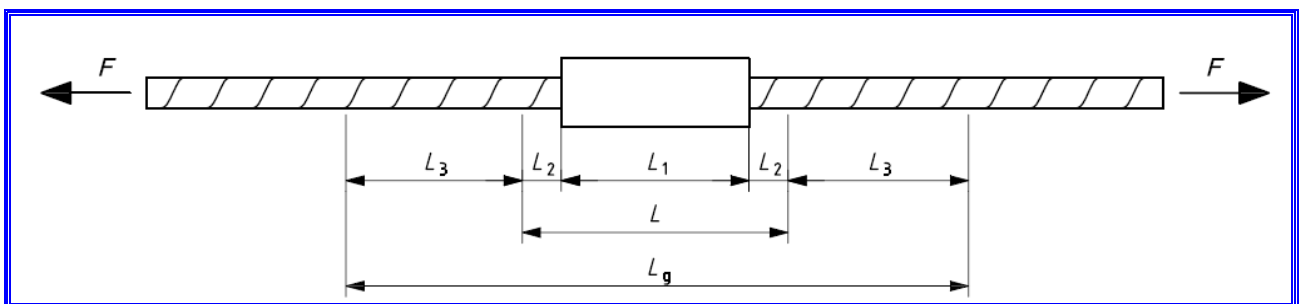
1. de trekproef
2. de slipproef
3. de vermoeiingsproef met een groot aantal cycli
4. de bepaling van seismische eigenschappen



De prestatie van mechanische verbindingen kan afhangen van de geometrie van de ribben van het betonstaal. In dit geval moet de gespecificeerde geometrie van de ribben van de staaf die aan de proeven onderworpen is, door de leverancier aangegeven worden en met de resultaten van proeven geregistreerd worden. Het meetprincipe en de opstelling voor de meting van de verlengingen worden in de figuren 4 en 5 verduidelijkt.



Figuur 4: Meetprincipe



Figuur 5: Definitie van de lengtes voor de meting van de rekken van de mechanische verbinding

Onderschrift

- $F$ , toegepaste last
- $L$ , lengte van de mechanische verbinding (zoals hoger gedefinieerd)
- $L_1$ , lengte van het verbindingsstuk
- $L_2$ ,  $= 2d$ , met  $d$  de nominale diameter van de wapeningsstaaf
- $L_3$ , tussen  $2d$  en  $3d$
- $L_g$ , globale lengte tussen merktekens, tussen  $L_1 + 8d$  en  $L_1 + 10d$

## 7.2 Voorbereiding van de proefstukken

De proefstukken moeten samengesteld en voorbereid worden overeenkomstig de schriftelijke instructies die door de leverancier van het verbindingsstuk worden opgesteld. Het verbindingsstuk moet in het midden van het proefstuk geplaatst worden.

Het proefstuk voor de trekproef moet voldoende lang zijn om over een vrije lengte tussen klauwen van de proefmachine te beschikken die de vaststelling van  $A_{gt}$  toelaat. De voldoende minimale vrije lengte van het proefstuk voor de trekproef bedraagt  $400 \text{ mm} + L$ , waar  $L$  de lengte van mechanische verbinding is (zoals hiervoor bepaald). De vrije lengte van het proefstuk voor de slipproef kan geringer zijn dan die van het proefstuk voor de trekproef.

Nochtans is het raadzaam de vrije lengte niet kleiner te nemen dan  $250 \text{ mm} + L$ . De lengte tussen merken om  $A_{gt}$  te bepalen moet, voor beide staven, buiten de lengte van mechanische verbinding liggen (zoals hiervoor bepaald). De proefstukken voor de vermoeiingsproeven moeten voldoende lang zijn om een vrije lengte tussen de klauwen van de proefmachine te verzekeren die groter is dan de lengte van mechanische verbinding.

## 7.3 Trekproef

### 7.3.1 Algemeen

De sterkte en de ductiliteit worden door een trekproef bepaald. De proefstukken van de slipproof kunnen voor deze proef gebruikt worden.

### 7.3.2 Proefuitrusting

De proefuitrusting moet overeenkomstig ISO 15630-1 zijn.

### 7.3.3 Werkwijze voor de proef

De proef moet overeenkomstig ISO 15630-1 uitgevoerd worden. Het  $A_{gt}$  in de gekoppelde staaf moet geëvalueerd en gemeten worden overeenkomstig ISO 15630-1 buiten de lengte van mechanische verbinding (zoals hiervoor bepaald) aan de twee kanten van de verbinding. Beide waarden moeten geregistreerd worden en de grootste waarde moet gebruikt worden om de overeenstemming te evalueren. Voor de berekening van de spanningen moet de nominale dwarsdoorsnede van de staaf gebruikt worden.

### 7.3.4 Type en plaats van de breuk

De lokalisatie van de breuk moet geregistreerd worden als een van de twee volgende lokalisaties:

1. binnen de lengte van de mechanische verbinding zoals vroeger gedefinieerd
2. buiten de lengte van de mechanische verbinding zoals vroeger gedefinieerd.

## 7.4 Slipproof

### 7.4.1 Algemeen

De slip moet overeenkomstig figuur 5 over het geheel genomen gemeten worden. Als het verbindingstuk uit meer dan een stuk voor lastoverdracht bestaat, is het nodig om een aanvullende meting te doen van de slip tussen elk stuk dat de last draagt. De meetwaarde van de slip moet gelijk genomen worden aan het maximum tussen de globale meting en de som van de metingen voor elk stuk.

### 7.4.2 Waarde van de slip

De slip in de mechanische verbinding moet gelijk genomen worden aan de lengte van mechanische verbinding die wordt gemeten na de proef, bestaande uit een trekproef tot aan een niveau van tenminste  $0,6 R_e$  gevolgd door het ontlasten - waar  $R_e$  de gespecificeerde elasticiteitsgrens van de staaf is -, verminderd met de lengte vóór de belasting.

### 7.4.3 Proefuitrusting

De te gebruikende trekproefmachine moet in overeenstemming met ISO 15630-1 zijn. De gebruikte extensometer moet van klasse 1 of beter zijn overeenkomstig ISO 9513. De extensometer gebruikt om de slip te bepalen moet minstens van een soort (door meting van op) twee punten zijn maar bij voorkeur van een soort (door meting van op) drie punten. Het meetinstrument van de slip moet voldoende star zijn en stevig vastgemaakt zijn opdat de slip met een nauwkeurigheid van minstens  $0,01 \text{ mm}$  gemeten kan worden. De meetonzekerheid zal volgens ISO 6892-1 bepaald worden.

Het is raadzaam deze nauwkeurigheid en meetonzekerheid regelmatig (bijvoorbeeld jaarlijks en altijd als er een

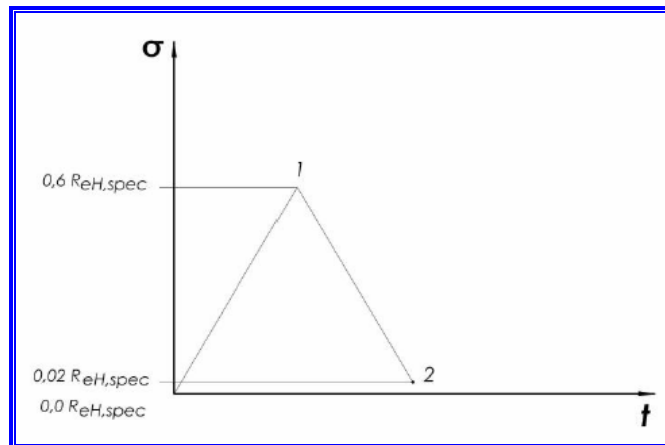
wijziging van de proefomstandigheden is) te controleren door de proef te verwezenlijken op een controlestaaf die dezelfde lengte tussen merken heeft. De onzekerheid van de meting wordt berekend door de som te maken van de onzekerheid van de extensometer (zoals verklaard door de fabrikant) en de fout die door het bevestigingsmechanisme ingevoerd kan worden. De nauwkeurigheid van de meting is de lezing na terugkeer naar nul van de last.

#### 7.4.4 Werkwijze voor de proef

Het proefstuk moet in de proefuitrusting geklemd worden zodanig dat de last op axiale wijze, en zoveel mogelijk zonder buigingsmoment, op de hele lengte van het proefstuk wordt overgebracht. Het is nodig om de meting van de slip te doen zonder een voorafgaande last toe te passen op het proefstuk. Als een geringe voorafgaande last onvermijdelijk is om de staaf te grijpen, moet de spanning die met de voorafgaande last in de staaf overeenstemt lager zijn dan 4 MPa en de meting van de overeenkomstige slip, als er is, moet geregistreerd en in het verslag van proef vermeld worden.

De meetklokken moeten op nul gezet worden na aanspannen van de klauwen van de machine voor de trekproef.

De cyclische belasting voor de kwalificatieproeven moet verwezenlijkt worden overeenkomstig het principe dat in figuur 6 wordt verduidelijkt.



Figuur 6: Cyclische belasting voor de slipproef

Onderschrift

- $\sigma$ , spanning
- t, tijd
- 1, maximale spanning voor belasting
- 2, maximale spanning voor ontlasting

#### 7.4.5 Validatie van een slipproef

De validatie van een slipproef impliceert eerst dat de toepassing van de cyclische belasting op een wapeningsstaaf zonder verbindingstuk aanleiding geeft tot een slip nul rekening houdend met de meetonzekerheid. Het is aan het laboratorium om de documentaire bewijzen van deze eis aan te brengen.

Hierdoor wordt elke slipproef a priori gevalideerd, tenzij de fabrikant bovengenoemde proef weigert.

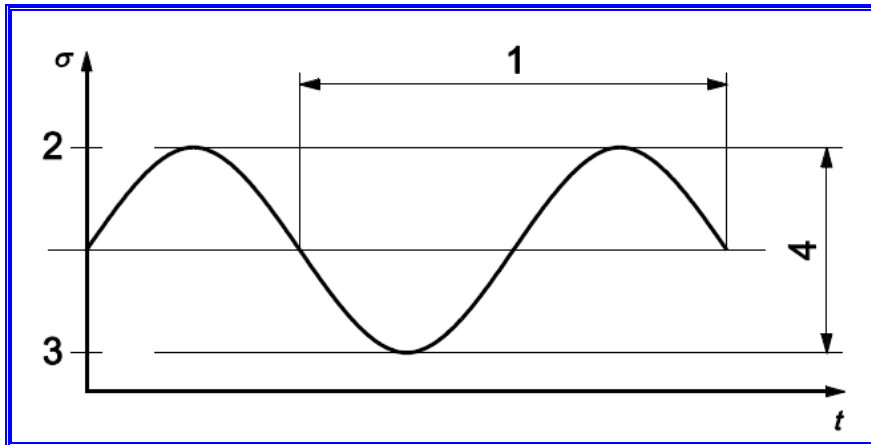
In een dergelijk geval, wordt de proef gevalideerd behalve als het laboratorium

- hetzij de goede uitvoering van de proef niet kan bewijzen, waaronder verstaan de voorbereiding van het proefstuk volgens de instructies van de fabrikant,
- hetzij een objectieve en feitelijke verklaring levert van een overdreven slip, die geen verband houdt met de kwaliteit van het koppelingssysteem.

## 7.5 Vermoeiingsproef op groot aantal van cycli

### 7.5.1 Principe van de proef

De prestatie in vermoeiing van mechanische gekoppelde staven zal normaal lager zijn dan die van de niet gekoppelde staaf. Het doel van de vermoeiingsproeven op mechanische verbindingen van betonstaal is de vermoeiingssterkte van de mechanische verbinding te bepalen. In de vermoeiingsproef onder axiale last, wordt het proefstuk belast met een axiale spanning die op cyclische wijze varieert volgens een sinusoïdale golf van constante frequentie (zie figuur 7) in het elastische gebied.



Figuur 7: Diagram van de lastcycli de vermoeiingsproef op groot aantal van cycli

Onderschrift

- $\sigma$ , spanning
- $t$ , tijd
- 1, spanningscyclus
- 2, niveau van hoogste spanning
- 3, niveau van laagste spanning
- 4, spanningswisseling ( $\Delta\sigma$ )

### 7.5.2 Proefuitrusting

De vermoeiingsproef moet met een controle van de last verwezenlijkt worden. De vermoeiingsproefmachine moet overeenkomstig ISO 7500-1 geijkt worden; de nauwkeurigheid moet  $\pm 1\%$  of beter zijn en de machine moet in staat zijn om het niveau van hoogste spanning,  $\sigma_{max}$ , te handhaven op  $\pm 2\%$  van de gespecificeerde waarde en het niveau van laagste spanning,  $\sigma_{min}$ , op  $\pm 2\%$  van de gespecificeerde waarde.

### 7.5.3 Werkwijze voor de proef

#### 7.5.3.1 Aanspannen van het proefstuk in de proefuitrusting

Het proefstuk moet in de proefuitrusting geklemd worden zodanig dat de last op axiale wijze en, zoveel mogelijk zonder buigingsmoment op het geheel van het proefstuk wordt overgebracht.

#### 7.5.3.2 Frequentie en temperatuur

De frequentie van de lastcycli moet constant zijn gedurende de proef en eveneens voor de reeks proeven. De frequentie moet tussen 1 Hz en 200 Hz<sup>8</sup> gehouden worden. De temperatuur van het proefstuk mag 40 °C niet

<sup>8</sup> Een frequentie lager dan 60 Hz geeft gewoonlijk een aanvaardbare temperatuur van het proefstuk

overschrijden gedurende de proef. Het is raadzaam dat de temperatuur in het proeflaboratorium minstens tussen 18 °C en 35 °C wordt gehouden en bij voorkeur tussen 18 en 28 °C.

### 7.5.3.3 Einde van de proef

De proef wordt met de breuk van het monsterstuk beëindigd of wanneer het gespecificeerde aantal cycli zonder breuk is bereikt. Als het proefstuk buiten de lengte van mechanische verbinding (zoals hiervoor bepaald) breekt, als de mechanische verbinding nog intact is en als de resterende lengte van de staaf voldoende is om het te klemmen, kan de proef voortgezet worden nadat het proefstuk opnieuw ingespannen geworden is.

## 7.6 Bepaling van de seismische eigenschappen

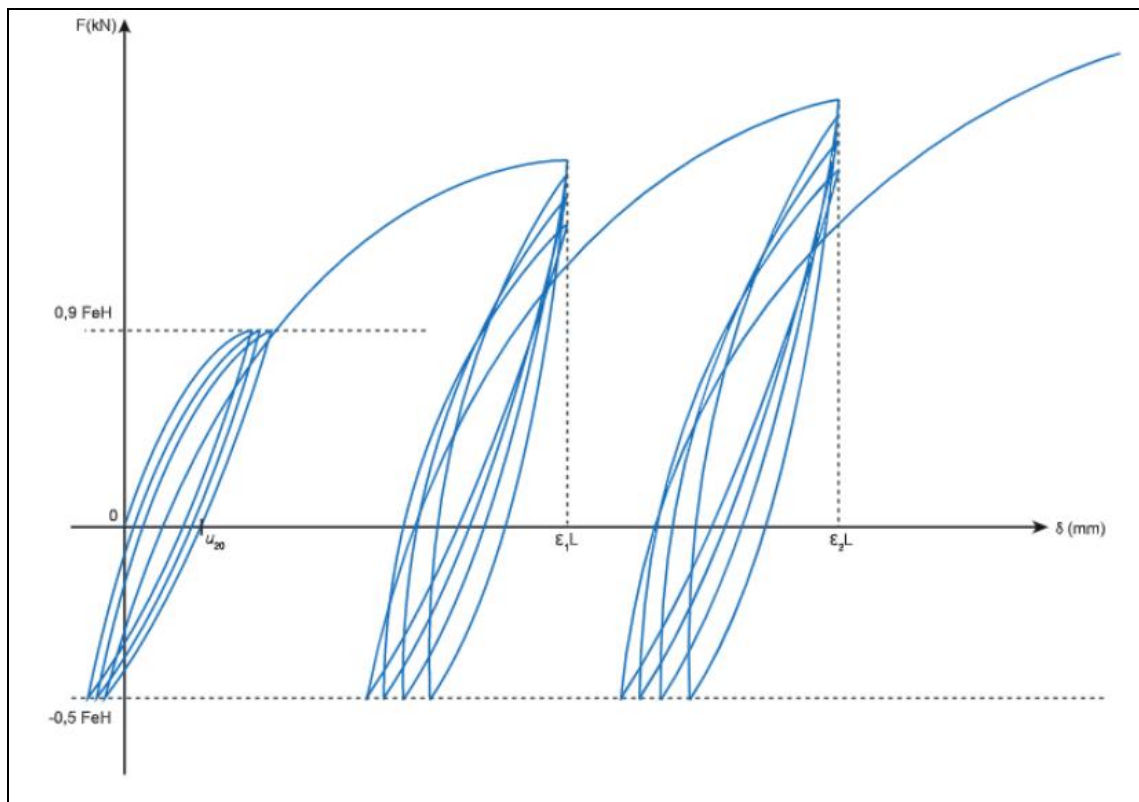
De bedoeling van deze test is een aardbeving te simuleren. De proef zal worden uitgevoerd in overeenstemming met NBN ISO 15835-2.

De proef wordt uitgevoerd op de mechanische verbinding en op een referentiestaaf van dezelfde gietlading.

De belasting van het proefstuk bestaat uit vier opeenvolgende stadia:

- fase 1: van nulspanning tot  $0,9R_e$  ( $450 \text{ N/mm}^2$ ) in trek en vervolgens tot  $0,5R_e$  ( $-250 \text{ N/mm}^2$ ) in druk, 20 keer herhaald, gevolgd door fase 2
- fase 2: belasting tot tweemaal de berekende rek bij nominale vloeigrens  $R_e$  (0,5%), gemeten met een extensometer op de vrije lengte  $L_3$  van de staaf, gevolgd door een daling tot  $0,5R_e$  ( $-250 \text{ N/mm}^2$ ) in druk, 4 keer herhaald, gevolgd door fase 3.
- fase 3: belasting tot vijfmaal de berekende rek bij nominale vloeigrens  $R_e$  (1,25%), gemeten met een extensometer op de vrije lengte  $L_3$  van de staaf, gevolgd door een daling tot  $0,5R_e$  ( $-250 \text{ N/mm}^2$ ) in druk, 4 keer herhaald, gevolgd door fase 4.
- fase 4: belasting van het proefstuk tot breuk.

De residuele verlenging na de eerste 20 cycli  $u_{20}$  wordt gemeten over dezelfde meetlengte  $L_g$  als voor de slijptest.



Figuur 8: Diagram van de lastcycli voor bepaling van de seismische eigenschappen

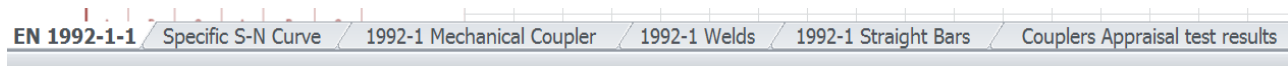
Onderschrift

- $F$ , kracht
- $\delta$ , verplaatsing
- $u_{20}$ , residuele verlenging van de mechanische verbinding na 20 cycli, gemeten over  $L_g$
- $\varepsilon_1 = 2 \times$  rek bij de vloeigrens  $R_e$
- $\varepsilon_2 = 5 \times$  rek bij de vloeigrens  $R_e$

## 8 VOORBEELD VERMOEIINGSKROMME VAN EEN MECHANISCHE VERBINDING

Het EXCEL berekeningsbestand « **Requirements Fatigue EN 1992-1-1** » is in het Engels geschreven en wordt bijgevoegd bij de onderhavige PTV.

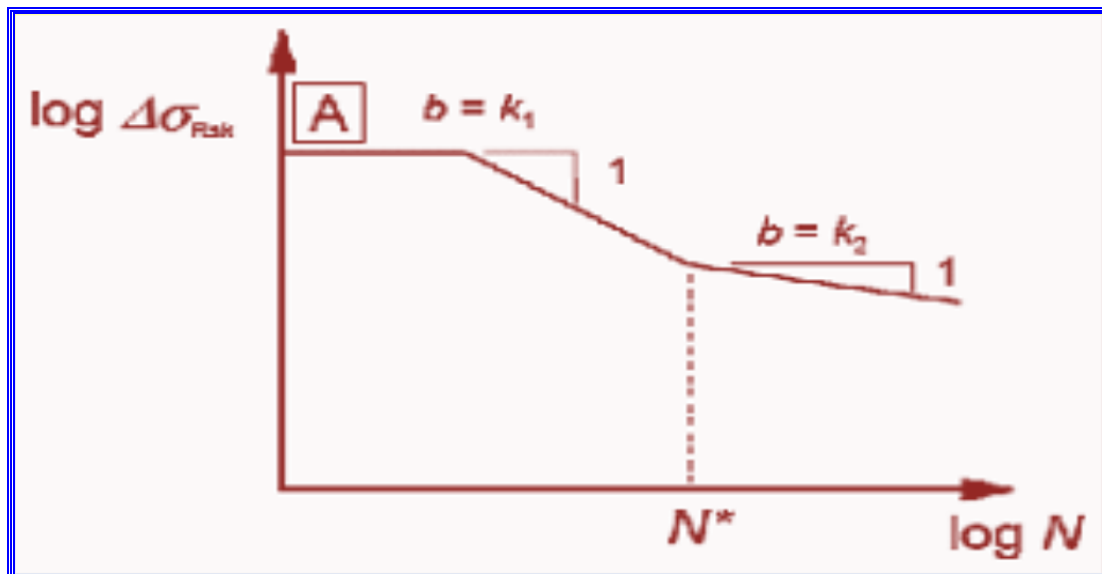
Dit bestand bestaat uit zes bladen:



### 8.1 Blad « EN 1992-1-1 »

Dit blad herhaalt de basisregels van de Eurocode 2 voor de vermoeiingssterkte volgens hoofdstuk 6.8.4 (EN 1992-1-1:2004), namelijk

- de basisvorm van de Wöhler kromme:



Figuur 9: basisvorm van de Wöhler kromme

- de parameters die deze kromme in verschillende configuraties bepalen, waarvan de hier betrokken mechanische verbindingen (« Splicing devices »)

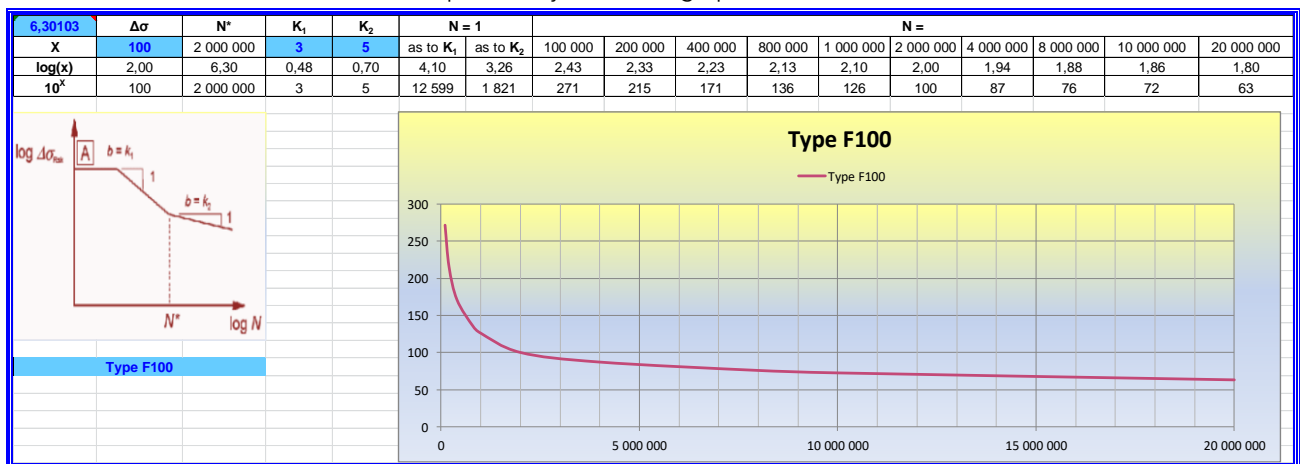
Tabel 5: parameters van de kromme in verschillende configuraties

Type of reinforcement	$N^*$	stress exponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa) at $N^*$ cycles
		$k_1$	$k_2$	
Straight and bent bars <sup>1</sup>	$10^6$	5	9	162,5
Welded bars and wire fabrics	$10^7$	3	5	58,5
Splicing devices	$10^7$	3	5	35

**Note 1:** Values for  $\Delta\sigma_{Rsk}$  are those for straight bars. Values for bent bars should be obtained using a reduction factor  $\zeta = 0,35 + 0,026 D / \phi$ .

## 8.2 Blad « Specific S-N curve »

Dit blad maakt het mogelijk om een typekromme aan te passen vanaf de basisparameters van de Eurocode:  $N^*$ ,  $\Delta\sigma$ ,  $k_1$ ,  $k_2$ . Het voorbeeld hieronder heeft respectievelijk betrekking op:  $N^* = 2\,000\,000$ ,  $\Delta\sigma = 100$ ,  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 5$ .



Figuur 10: Voorbeeld voor  $N^* = 2\,000\,000$ ,  $\Delta\sigma = 100$ ,  $k_1 = 3$ ,  $k_2 = 5$

## 8.3 Blad « 1992-1 Mechanical Coupler »

Dit blad herhaalt de basiskromme van de Eurocode voor de mechanische verbindingen.

## 8.4 Blad « 1992-1 Welds »

Dit blad wordt zuiver ter informatie geleverd en herhaalt de basiskromme van de Eurocode voor lassen.

## 8.5 Blad « 1992-1 Straight bars »

Dit blad wordt zuiver ter informatie geleverd en herhaalt de basiskromme van de Eurocode voor rechte staven.

## 8.6 Blad « Couplers Appraisal test results »

Dit blad maakt het mogelijk om de experimentele resultaten voor mechanische verbindingen te compileren en om deze resultaten voor te stellen onder de vorm van een basiskromme specifiek voor de uitgevoerde proeven, welke wordt vergeleken met de kromme van de Eurocode.

## 9 HISTORIEK VAN DE HERZIENINGEN

- Herziening 0: Oprichting van het document
- Herziening 1: Update van het document op basis van de herziening van de normen van de ISO 15835 reeks
- Herziening 2: Update van het document mb.t. verbindingen tussen staven van verschillende diameters
- Herziening 3: Update om coherent te zijn met de aanpassingen in het TRA
- Herziening 4: Toevoeging van seismische eigenschappen
- Herziening 5: Omvorming van OCBS naar PROCERTUS