

„l'Expérience est la source unique de la vérité”

H. Poincaré, La Science et l'Hypothèse.

Voor opdrachten of adviezen gelieve men zich te wenden tot het adres:
Instituut T.N.O. voor Bouwmaterialen en -constructies,
Lange Kleiweg 5, Rijswijk Z-H., tel. Delft (01730) 26950*.
Correspondentie-adres uitsluitend: Postbus 49 te Delft.

Voor bijdragen voor dit blad, bijv. op het gebied van eigen waarnemingen en uitvoering van constructies, welke aanleiding zouden kunnen geven tot meer economische werkwijze of verbetering van inzicht, houdt de redactie zich aanbevolen.

Rapporten over intern speurwerk kunnen tegen kostprijs worden verstrekt.

IBC MEDEDELINGEN

ORGAAN VAN HET

INSTITUUT T.N.O. VOOR BOUWMATERIALEN EN -CONSTRUCTIES

VOORTZETTING VAN DE W.G.S.-MEDEDELINGEN

Redacteur: Ir. A. L. Bouma — Postbus 49, Delft

JAARGANG 3

NO. 3

JULI 1955

INLEIDING OVER DE KRUIP VAN BETON

In dit artikel worden de begrippen kruip en relaxatie van beton gedefinieerd, waarna een kort overzicht wordt gegeven van onderzoeken en publicaties, die in de laatste 30 jaar aan deze verschijnselen zijn gewijd. Het blijkt, dat wel vele kruipproeven, doch geen relaxatieproeven op beton zijn verricht.

Verschillende factoren, die van invloed zijn op de mate waarin kruip zal optreden, zoals de invloed van de samenstellende onderdelen van het beton, hun mengverhouding, de omstandigheden tijdens de verharding, de ouderdom op het tijdstip van belasten en de grootte van de belasting worden kwalitatief besproken.

Het artikel wordt besloten met een beschouwing over enkele formules, die het verband trachten weer te geven tussen de kruip en de tijd.

Inleiding

Het feit, dat beton onder invloed van een blijvende, constante belasting toenemende vormveranderingen vertoont, is sedert ongeveer 1925 bekend. De staalfabrikanten en -constructeurs verheugden zich indertijd over dit feit, in de mening verkerend, dat staal, bij lage temperaturen, deze eigenschap niet bezat. Enkele jaren later werd evenwel aangetoond, dat staal bij lage temperaturen en ook andere bouwmaterialen in meerdere of mindere mate dergelijke verschijnselen vertonen.

Dit gedrag van beton kan worden aangetoond door een zgn. kruipproef, waarbij een betonprisma of -cilinder wordt onderworpen aan een uitwendige centrische belasting, die een spanning σ in het beton tot gevolg heeft. Onmiddellijk na het belasten zal een bijbehorende specifieke vormverandering ε_1 worden geconstateerd. Wordt de spanning σ gedurende langere tijd gehandhaafd, dan blijkt dat na verloop van tijd een grotere, specifieke vormverandering ε_2 wordt gemeten. De toeneming van de vormverandering, $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$, toont

de kruip van het beton aan, zodat deze als volgt kan worden gedefinieerd: *onder de kruip van beton wordt verstaan de toeneming van de vormverandering, die in de loop van de tijd ontstaat onder invloed van een constante, uitwendige belasting.*

Ook kan men omgekeerd een blijvende, constante, specifieke vormverandering ε in een materiaal aanbrengen. Direct na het aanbrengen, wordt de bijbehorende aanvangsspanning σ_a bepaald, en na verloop van tijd de bijbehorende spanning σ_b . Blijkens op deze wijze uitgevoerde proeven op staal (z.g. relaxatieproeven) is σ_b kleiner dan σ_a . Hoewel, voor zover bekend, nog geen relaxatieproeven op beton zijn verricht, mag worden verwacht, dat beton een overeenkomstig gedrag zal vertonen, zodat *onder de relaxatie van beton kan worden verstaan de, bij een constant gehouden vormverandering in het beton, in de loop van de tijd optredende vermindering van de spanning.* In Duitsland worden thans voorbereidingen getroffen om tot relaxatieproeven op beton over te gaan, waarvoor o.a. zeer stijve persen nodig zijn.

Het spoorwerk inzake de kruip van beton heeft zich tot nu toe beperkt tot het uitvoeren van kruipproeven bij lage spanningen, t.w. spanningen beneden 80—100 kg/cm². Davis (U.S.A.) [1] [2] [3] heeft de onderzoeken op dit gebied ingeleid, door in de jaren 1925—1930 talrijke proeven te verrichten op betoncilinders en -prisma's, spoedig gevolgd door Richart (U.S.A. \pm 1930) [6] en Glanville (Engeland \pm 1930) [4] [5]. Ook de E.M.P.A. (Zwitserland \pm 1935—1945) [7] [8] heeft belangrijke onderzoeken gedaan.

De reactie in de wereld van de betononderzoekers op deze proeven was groot, getuige de zeer vele publicaties, die over kruipverschijnselen van beton in de laatste decennia zijn verschenen en die de huidige onderzoeker nopen tot een aanzienlijke schifting, waarbij hij gelukkig wordt geholpen door het feit, dat vele schrijvers zich bepalen tot het trekken van conclusies uit de resultaten van bovengenoemde proeven. Slechts weinigen beroepen zich op resultaten uit proeven, die zij zelf hebben verricht. De in de publicaties ontwikkelde denkbeelden zijn nog weinig exact en kunnen dit ook niet zijn, daar de kennis omtrent de structuur van beton nog altijd niet voldoende is. Deze kennis omtrent de structuur en omtrent het uit de structuur voortvloeiend gedrag van beton onder invloed van een blijvende, uitwendige belasting ligt op chemisch-fysisch terrein.

De totale, specifieke vormverandering ε_{tot} van beton onder invloed van een permanente, constante, over de gehele doorsnede gelijke spanning σ op het tijdstip t na het ogenblik van belasten, kan in de meest algemene vorm als volgt worden geschreven:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_0 + f(t) \quad \dots \dots \dots (1)$$

waarin ε_0 de elastische vormverandering voorstelt: $\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E_{t=0}}$, waarin $E_{t=0}$ de elasticiteitsmodulus van het beton is op het ogenblik van belasten $t = 0$ bij de betreffende spanning σ . De functie $f(t)$ geeft de kruip weer als functie van de tijd. Volgens vrijwel alle onderzoekers nadert $f(t)$ binnen 3 à 10 jaar tot

een bepaalde limietwaarde. De vergelijking (1) kan dan worden weergegeven, zoals in fig. 1 is geschied.

Samenvattend kan worden gezegd, dat de verrichte kruipproeven en de vele publicaties tot doel hadden een onderzoek naar de invloed van de factoren, die het verloop van de kruip als functie van de tijd en in het bijzonder de grootte van de uiteindelijk te verwachten kruipmaat bepalen. Ook wordt hierbij wel gezocht naar een verklaring voor het mechanisme van de kruip.

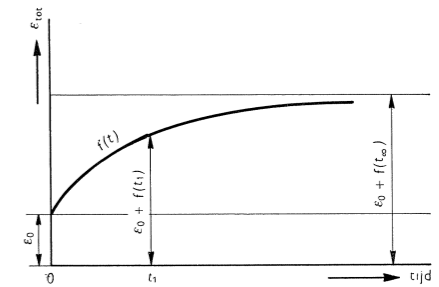


Fig. 1. De totale, specifieke vormverandering ε_{tot} als functie van de tijd.

Factoren, die de kruip beïnvloeden

In het navolgende zal een beschouwing worden gewijd aan de invloed, die verschillende factoren op de kruip uitoefenen, waarbij opgemerkt dient te worden, dat alle onderstaande gegevens zijn ontleend aan proeven, verricht op betonprisma's en -cilinders.

De verschillende onderzoekers hebben getracht om door middel van proefnemingen de invloed van een bepaalde factor op de kruip na te gaan door deze factor in een proevenserie te variëren en alle andere factoren zoveel mogelijk constant te houden. Het is echter zeer moeilijk, zo niet ondoenlijk, om bij betonproeven slechts één factor te variëren; er blijken er meestal meer tegelijk te veranderen. Wanneer in een andere proevenserie andere waarden voor de constante factoren worden ingevoerd, is het ook zeer wel mogelijk, dat de invloed van de variabele factor kwantitatief verschilt met die, bepaald uit de eerste serie.

Bij de bestudering van de publicaties over verrichte onderzoeken blijkt, dat de onderzoekers dikwijls niet volledig zijn in het vermelden van gegevens omtrent de constant gehouden factoren, waardoor het moeilijk is de uit de proeven verkregen resultaten te interpreteren en dus volstaan moet worden met hoofdzakelijk kwalitatieve beschouwingen omtrent de invloeden van de verschillende factoren op de kruip. Achtereenvolgens zullen hierbij worden genoemd: de invloed van de samenstellende delen van het beton en hun mengverhouding zowel als de omstandigheden tijdens de verharding, de ouderdom op het tijdstip van belasten, de grootte van de belasting en de afmetingen van het proefstuk.

De hoeveelheid cement. Uit proeven van Glanville [4] blijkt, dat, onder overigens gelijke omstandigheden, de kruip bij een mengverhouding 1 : 3 : 6 ongeveer $2 \times$ zo groot is als bij een mengverhouding 1 : 2 : 4 en deze weer ongeveer $2 \text{ à } 3 \times$ zo groot als bij een mengverhouding 1 : 1 : 2. Opgemerkt dient te

worden, dat Glanville in alle gevallen van een ongeveer gelijke hoeveelheid water is uitgegaan, zodat de water-cement factoren voor de verschillende mengverhoudingen niet gelijk waren. Ook proeven door Davis [1] [2] genomen, tonen de bovenstaande tendenz, zodat wel gezegd kan worden, dat naarmate meer cement wordt toegevoegd, de kruip geringer zal zijn.

De cementsoort. Ook het feit of normaal portlandcement, dan wel portlandcement met hoge aanvangssterkte of aluminiumcement wordt gebruikt, zal op de kruip van invloed zijn. Men zal verwachten, dat bij gebruik van cement met hoge aanvangssterkte de kruip geringer zal zijn. De structuur speelt hierbij een belangrijke rol: de cementpasta gaat hierbij immers eerder over in een meer en meer vaste toestand. Deze verwachting wordt gedeeltelijk bevestigd door proeven, die door Glanville [4] zijn genomen. Uit deze proeven blijkt althans, dat de kruip, bij verharding in lucht, voor met aluminiumcement samengesteld beton het geringste is en voor met normaal portlandcement vervaardigd beton het grootst. Bij verharding onder water blijkt echter de kruip bij portlandcement het geringst en bij aluminiumcement het grootst, maar de onderlinge verschillen zijn kleiner dan bij verharding in lucht.

De maalfijnheid van het cement. Deze zal volgens Glanville [5] slechts invloed hebben, wanneer deze de sterkte van het beton beïnvloedt, waarbij in het algemeen kan worden gezegd, dat de kruip geringer zal zijn naarmate het beton sterker is.

De water-cement factor. Uit door Glanville [4] genomen proeven omtrent de invloed van de hoeveelheid toegevoegd water is te concluderen, dat deze belangrijk is en wel in die zin, dat meer water, dus een hogere water-cement factor, de kruip bevordert. Zowel bij gebruik van gewoon portlandcement, als bij portlandcement met hoge aanvangssterkte en bij aluminiumcement blijkt dit het geval te zijn.

Bij het mechanisch verdichten van beton zal in het algemeen minder water worden toegevoegd, hetgeen een vermindering van de kruip met zich zal brengen. Wanneer echter minder cement wordt gebruikt, beïnvloedt deze factor eveneens de kruip. Het gedrag van mechanisch verdicht beton is dus van verschillende factoren afhankelijk.

De toeslagstoffen. Davis [3] heeft proeven gedaan om de invloed van de aard van de toeslagstoffen na te gaan. Onder overigens gelijke omstandigheden zijn proeven verricht op proefstukken met de volgende toeslagstoffen: kalksteen, kwarts, graniet, gravel, basalt en zandsteen, die in deze volgorde een steeds toenemende kruip bleken op te leveren.

De fijnheidsmodulus. Over de invloed van de fijnheidsmodulus van het toeslagmateriaal zijn weinig gegevens bekend. Verwacht kan echter worden, dat wanneer de ideale graderingscurve wordt toegepast, waarbij de hoeveelheid aanmaakwater minimaal is, de kruip eveneens een minimumwaarde zal bereiken.

De omstandigheden tijdens het verharden. De door de onderzoekers Davis [1] [2] [3], Glanville [4] [5] en de E.M.P.A. [7] [8] verrichte proeven laten zien, dat deze

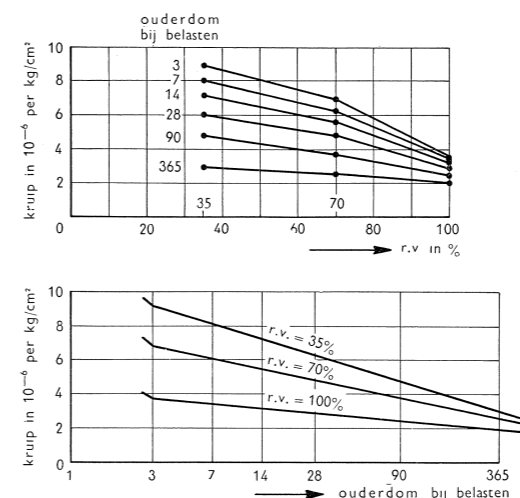


Fig. 2. Invloed van de relatieve vochtigheid en van de ouderdom bij belasten op de kruip.

worden, dat de gemiddelde relatieve vochtigheid over een jaar in Nederland ongeveer 80 % bedraagt, hetgeen vrij hoog is, zodat de invloed van deze factor op de kruip in ons land vrij gunstig is.

Gegevens omtrent de invloed van de temperatuur van de lucht of van het water, waarin de verharding van de proefstukken plaatsvond, worden in de literatuur niet verstrekt.

De invloed van de grootte van de belasting en van de belastingsduur. Uit proeven, genomen door de E.M.P.A. (zie fig. 3) en uit proeven van Davis blijkt, dat de vormverandering ten gevolge van kruip en de aangebrachte spanning bij langdurige belasting een lineair verband vertonen. Blijkens proeven van Glanville (zie fig. 4) is dit bij een belasting van korte duur niet het geval. Bij een hogere belasting blijkt de kruip meer dan evenredig toe te nemen.

Vele onderzoekers, zoals Davis [1] [2] [3], Glanville [4] [5], Shank [9], Maney [15], Saliger [12], concluderen dan ook, dat voor normale belastingsgevallen uiteindelijk de vormverandering ten gevolge van kruip evenredig is met de spanning.

Uit fig. 5 (Davis) is af te leiden, dat bij een langere belastingsduur het $\sigma - \epsilon$ diagram van beton steeds meer tot een rechte nadert. Het $\sigma - \epsilon$ diagram, behorende bij een korteduurproef, is volgens Davis kromlijinig, waarbij opgemerkt dient te worden, dat bij een korteduurproef toch ook nog enige tijd nodig is om de spanning in het proefstuk successievelijk te verhogen en metingen te verrichten, zodat enige kruip in het genoemde $\sigma - \epsilon$ diagram verdisconteerd

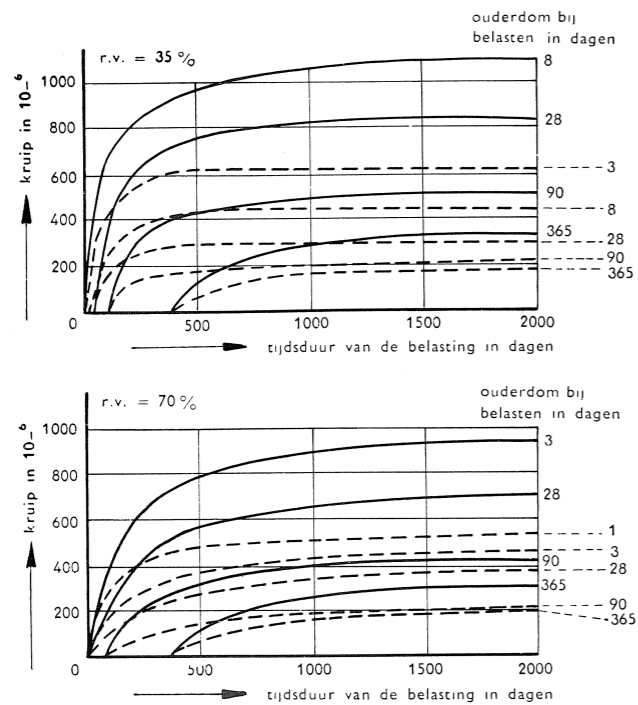


Fig. 3. Invloed van de grootte van de belasting en de ouderdom bij belasten op de kruip.
 ————— 100 kg/cm²
 - - - - - 50 kg/cm²

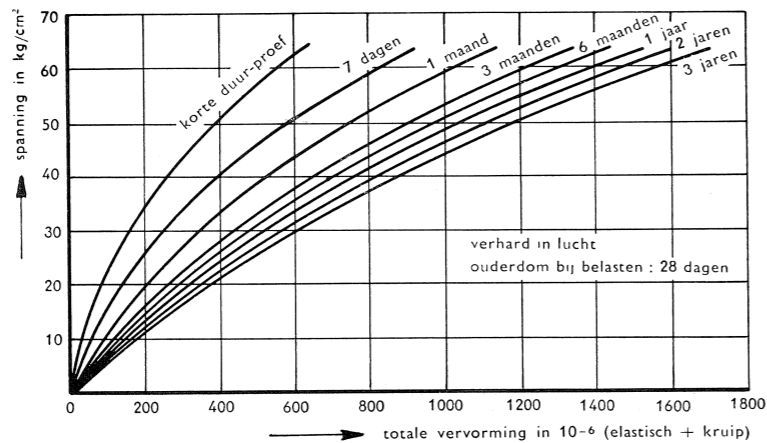


Fig. 5. Invloed van de belastingduur op het σ - ϵ diagram van beton.

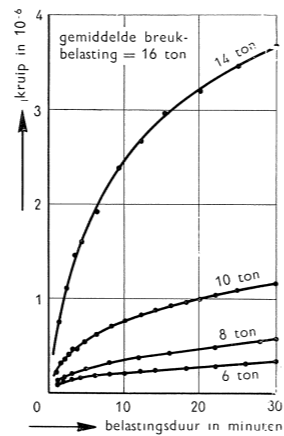


Fig. 4. Invloed van de belastingduur voor verschillende belastingen op de kruip.

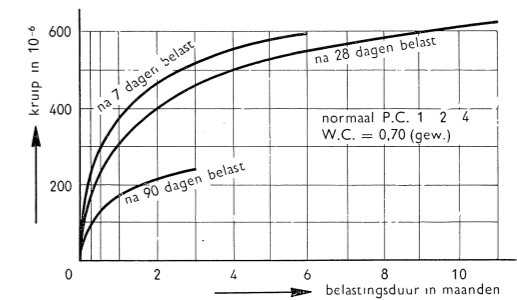


Fig. 6. Invloed van de ouderdom bij belasten op kruip.
 (Belasting: 42 kg/cm²)

kan zijn. Het is misschien mogelijk, dat wanneer het opvoeren van de spanning en het uitvoeren van de metingen in de tijd $t = 0$ zou kunnen geschieden voor niet te hoge spanningen wel een lineair σ - ϵ diagram ontstaat. Bij hogere spanningen zal in dit geval toch een afwijking van het lineaire σ - ϵ diagram kunnen ontstaan door plastische deformaties.

De ouderdom op het tijdstip van belasten. Deze is eveneens van invloed op de mate, waarin kruip zal optreden. De figuren 2 en 6, naar aanleiding van proeven van de E.M.P.A. [7] en van Glanville [4], geven een duidelijk beeld. Het blijkt, dat naarmate de ouderdom bij belasten groter is, de optredende kruip geringer zal zijn. Glanville [4] zegt, dat na 1 maand vanaf het moment van belasten de kruipkrommen gelijk zijn, hoewel dit niet uit fig. 6 blijkt.

De grootte van de proefstukken. Volgens Glanville [4] heeft deze geen invloed op de kruip.

Het verband tussen de kruip en de tijd

Vele onderzoekers hebben getracht het verband tussen de kruip van beton en de tijd in formule-vorm weer te geven. In verband met de grote onderlinge gelijkheid van vele van deze formules zal slechts een beperkt aantal worden besproken.

Zo gaat Shank [9] uit van een door Straub aangegeven formule voor de kruip van beton:

$$\epsilon_t = C \sigma^p t^q, \dots \dots \dots (2)$$

waarin

ϵ_t = de specifieke vormverandering door de kruip op een tijdstip t na het ogenblik van belasten

C = coëfficiënt, bepaald uit een proef

σ = de aangebrachte spanning in lbs/sq. inch

t = tijd in dagen

p en q exponenten zijn, die hangen van het gedrag van het beton op het tijdstip van belasten. Shank voert de voorwaarde in, dat de kruip ϵ_t evenredig is met σ (dus $p = 1$), zodat vergelijking (2) wordt:

$$\frac{\epsilon_t}{\sigma} = y = C t^q, \dots \dots \dots (2a)$$

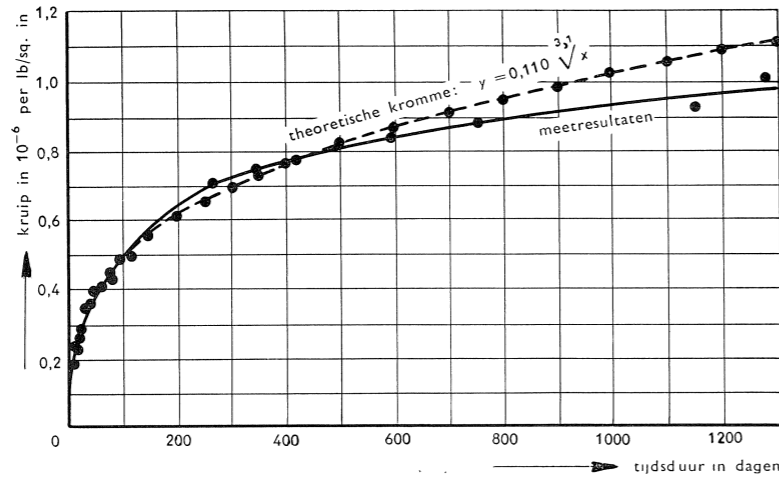
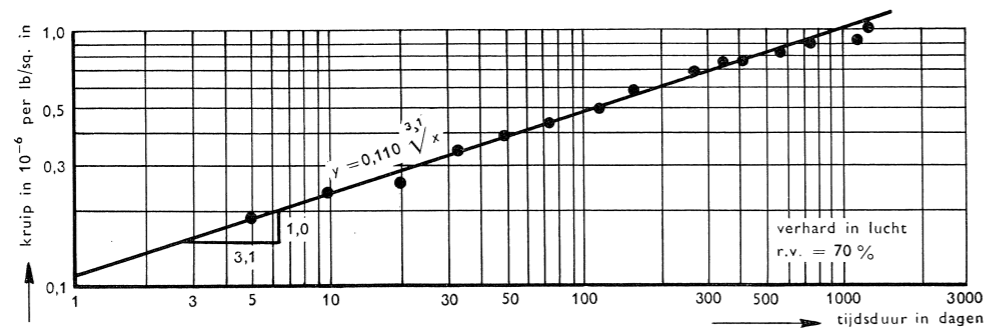


Fig. 7. Verband tussen kruip en belastingsduur; vergelijking van meetresultaten volgens Davis met de theoretische waarden volgens de formule van Shank.

Voor $q = \frac{1}{a}$ gaat deze vergelijking over in:

$$y = Ct^{\frac{1}{a}} \dots \dots \dots (2b)$$

In deze vergelijking stelt y dus de specifieke vormverandering per eenheid van spanning voor ten gevolge van de kruip op een tijd t na het tijdstip van belasten. Wanneer deze functie wordt uitgezet op dubbel logarithmisch papier ontstaat een rechte. Shank heeft voor een prisma, beproefd door Davis, de meetresultaten uitgezet en de bijbehorende rechte bepaald (zie fig. 7).

Het blijkt, dat deze rechte gedurende de eerste 500 dagen de uit de proef verkregen resultaten vrijwel dekt, daarna is de rechte te ongunstig, omdat de

functie $y = Ct^{\frac{1}{a}}$ geen limietwaarde bezit. Uit de helling van de rechte is a te bepalen en uit de snijding van de rechte met de ordinaat $t = 1$ dag, de coëfficiënt C . Voor een groot aantal proefstukken van Davis en Glanville heeft Shank de C - en a -waarden bepaald, die echter een grote spreiding vertonen, waarin voornamelijk geen tendenz te bespeuren valt.

Met behulp van deze methode is het wellicht mogelijk uit de waarnemingen aan een proefstuk, dat gedurende korte tijd (enkele weken) centrisch belast is, een schatting te maken van de te verwachten kruip na lange termijn.

Ook Saliger [12] geeft een soortgelijke kruipformule, namelijk:

$$\epsilon_t = X\sigma \cdot f(t) = \alpha_t \cdot \sigma \dots \dots \dots (3)$$

waarin

- X = een materiaalconstante;
- σ = de spanning in kg/cm^2 ;
- t = de belastingstijd in maanden.

Saliger gaat dus eveneens uit van een evenredigheid tussen de kruip en de spanning en stelt voorts $f(t) = \sqrt[3]{t}$, terwijl voor X de gemiddelde waarde $6 \cdot 10^{-6}$ wordt ingevoerd. De vergelijking (3) wordt dan de volgende:

$$\epsilon_t = 6 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma \sqrt[3]{t} \dots \dots \dots (3a)$$

welke in principe gelijk is aan die van Shank. Wordt de vergelijking (3a) omgewerkt in dagen en lbs/sq.inch, dan wordt gevonden:

$$\frac{\epsilon_t}{\sigma} = 0,138 t^{\frac{1}{3}}, \text{ zodat } C = 0,138 \text{ en } a = 3 \text{ blijken te zijn, welke}$$

waarden redelijke gemiddelden zijn van de door Shank uit de proeven van Davis en Glanville gevonden resultaten. De formule van Saliger heeft ook het bezwaar geen limietwaarde te bezitten, welk bezwaar Saliger blijkbaar heeft gevoeld, gezien het feit, dat hij aanneemt, dat de kruip na $t = 30$ maanden een maximale waarde bereikt. In verband met het feit, dat Saliger een gemiddelde waarde invoert voor C en a , terwijl de door Shank gevonden C en a -waarden een grote spreiding vertonen, moet deze formule dan ook met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

De totale vormverandering kan volgens Saliger als volgt worden geschreven:

$$\epsilon_{\text{tot}} = \frac{\sigma}{E_0} + \alpha_t \sigma = \frac{\sigma (1 + E_0 \alpha_t)}{E_0}, \dots \dots \dots (4)$$

waarin $E_0 = \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon} \right)_{\epsilon \rightarrow 0, t=0}$, zodat Saliger in deze vergelijking alle vormveranderingen, die afwijken van een lineair $\sigma - \epsilon$ diagram bij een korte-

duurproef, in de kruip betreft. De term $(1 + E_0 \alpha_t)$ noemt Saliger „das Kriechverhältnis“. Als $E_0 = 300.000 \text{ kg/cm}^2$, wordt deze term voor $t = 30$ maanden gelijk aan 6,6, hetgeen vrij hoog lijkt.

Zoals reeds eerder is geschied, kan de totale vormverandering in het algemeen als volgt worden geschreven:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_0 + f(t).$$

Wanneer zowel de elastische vormverandering als de vormverandering door de kruip gesteld worden te voldoen aan de wet van Hooke, waarbij dus weer alle vormveranderingen, die afwijken van een lineair $\sigma - \varepsilon$ diagram bij een korteduurproef, in de kruip worden betrokken, mag $f(t)$ op ε_0 worden betrokken, zodat gesteld kan worden $f(t) = \varphi(t) \cdot \varepsilon_0$, waardoor de vergelijking wordt:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_0 \{1 + \varphi(t)\} \dots \dots \dots (5)$$

waarin $\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E_0}$ en $E_0 = \left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right)_{\varepsilon \rightarrow 0} t=0$

Verschillende onderzoekers, zoals Pucher [13], Ross [17] en Glanville [5] laten de functie $\varphi(t)$ voor $t \rightarrow \infty$ naderen tot een bepaalde limietwaarde. De functie $\varphi(t)$ kan dan, evenals voor vele niet-periodieke verschijnselen in de natuur, als volgt worden beschreven:

$$\varphi(t) = m (1 - e^{-\beta(t)}), \dots \dots \dots (6)$$

waarin volgens Pucher en Ross $\beta(t) = \gamma t$. De coëfficiënt γ moet met behulp van een proef worden bepaald. Glanville zegt, dat $\beta(t)$ proefondervindelijk moet worden bepaald, waarbij moet worden voldaan aan de voorwaarde, dat voor $t \rightarrow \infty$, $\varphi_t \rightarrow m$, zodat $e^{-\beta(t)} \rightarrow 0$. De totale deformatie bedraagt:

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \frac{\sigma}{E_0} \left\{ 1 + m(1 - e^{-\beta(t)}) \right\} \dots \dots \dots (7)$$

en voor $t \rightarrow \infty$

$$\varepsilon_{\text{tot}} = \frac{\sigma}{E_0} (1 + m) \dots \dots \dots (7a)$$

Uit de vele buitenlandse proeven kan worden afgeleid dat m , onder verschillende omstandigheden, gelegen is tussen 1 en 4, waarbij uitzonderingsgevallen, naar beneden of naar boven, voorkomen. Glanville heeft aan de hand van proeven gevonden, dat de uiteindelijke deformatie ten gevolge van kruip gelijk is aan 1,3 maal de vormverandering door kruip na 1 jaar bij beton, dat met portlandcement, en bij beton, dat met portlandcement met hoge aanvangsterkte is vervaardigd.

Resumerend kan worden gezegd, dat de constanten die in alle kruipformules voorkomen aan de hand van proeven dienen te worden bepaald, terwijl een universele formule, die het verband aangeeft tussen de kruip en de tijd onder verschillende omstandigheden, nog een verre toekomstdroom is, daar de invloed van de verschillende factoren nog slechts kwalitatief bekend is en dit nog niet eens altijd!

Een verwachting uit te spreken over de uiteindelijk optredende kruip met behulp van een korteduurproef is derhalve zeer speculatief, ook al omdat uit proeven is gebleken, dat in de aanvangsperiode de kruip nog niet evenredig is met de aangebrachte spanning. Voor een berekening blijft voorlopig de enige mogelijkheid over in de formules gemiddelde waarden voor de constanten in te voeren, hetgeen door de grote spreiding hierin aanzienlijke afwijkingen tot gevolg kan hebben.

LITERATUUR:

- [1] Davis, R. E., Flow of concrete under sustained compressive stress. Proceedings American Concrete Institute **24** (1928) p. 303—335.
- [2] Davis, R. E., and G. E. Troxell, Volumetric changes in portland cement mortars and concretes. Proceedings American Concrete Institute **25** (1929) p. 210—260.
- [3] Davis, R. E. and H. E. Davis, Flow of concrete under the action of sustained loads. Proceedings American Concrete Institute **27** (1931) p. 837—901.
- [4] Glanville, W. H., Report of the Building Research Board 1929 p. 48—60 en 1930 p. 47—52.
- [5] Glanville, W. H., Building Research, Technical Paper no. 21.
- [6] Richart, F. E., The effect of plastic flow in rigid frames of reinforced concrete. Proceedings American Concrete Institute **30** (1934) p. 181—195.
- [7] Bericht der Eidgenössischen Mat. Prüfungs- und Versuchsanstalt no. 155 Vorgespannter Beton.
- [8] Bericht der Eidgenössischen Mat. Prüfungs- und Versuchsanstalt no. 162 Die Materialtechnische Grundlagen und Probleme des Eisenbetons in Hinblick auf die zukünftige Gestaltung der Stahlbeton - Bauweise.
- [9] Shank, J. R., The mechanics of plastic flow of concrete. Proceedings American Concrete Institute **32** (1936) p. 149—180.
- [10] Gehler, W. und H. Amos, Versuche über Elastizität, Plastizität und Schwinden von Beton. Deutscher Ausschuss für Eisenbeton, Heft 78.
- [11] Dutron, R., Déformations lentes du béton armé sous l'action des charges permanentes. Annales des Travaux Publics de Belgique, **37** (1936) p. 851—906 en **38** (1937) p. 9—68.
- [12] Saliger, R., Der Stahlbetonbau. 7e Aufl. Deuticke, Wien 1949.
- [13] Pucher, A., Lehrbuch des Stahlbetonbaues. Springer, Wien 1949.
- [14] Lorman, W. R., The theory of concrete creep. Proceedings American Soc. for Testing Materials **40** (1940) p. 1082—1102.
- [15] Maney, Studies in engineering. North-Western Technical Institute 1941.
- [16] Pickett, G., The effect of change in moisture content on the creep of concrete under a sustained load. Proceedings American Concrete Institute, **38** (1942) p. 333—355.
- [17] Ross, A. D., Creep and shrinkage in plain, reinforced and redressed concrete. Journal Institution Civil Engineers, Nov. 1945.

SUMMARY

The phenomena creep and relaxation of concrete are defined. A short review is given of investigations and publications dedicated to these phenomena during the last 30 years. It appears that many investigations on creep, but no investigations on relaxation have taken place.

The influences of different factors on the rate of creep such as the influence of the components of concrete, the ratio of mixture, the circumstances at hardening, the age at loading and the magnitude of the applied stress are qualitatively discussed, and are followed by a discussion of some formulae giving information of the relation between creep and time.