Navorsings- en oorsigartikels

Krimp- en termiese vervorming by furfurielalkohol-polimeerbeton

D. Kruger

Laboratorium vir Materiale, Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Johannesburg 2000

Ontvang 4 Junie 1990; aanvaar 6 Augustus 1990

UITTREKSEL

In hierdie studie word die gedrag van 'n furfurielalkohol-polimeerbeton (FAPB) se vervormingseienskappe tydens en direk na polimerisasie bespreek. Die vervormingsvergelykings vir gewone Portlandsementbeton word as model gebruik, terwyl die nodige aanpassing aan hierdie vergelykings gemaak word om die effek van polimerisasiekrumping in berekening te bring. Eksperimentele werk is gedoen waartydens die materiaalmonsters vry van eksterne spannings aan verskillende temperatuurtoestande blootgestel is, waarna die vervormingsgedrag bestudeer is. Hierdie wisselende temperatuurtoestande is 'n simulatie van wat in die praktyk aangetref word, wanneer 'n materiaal afwisselend aan hoë en lae temperature blootgestel word. Resultate toon 'n duidelike variërende vervormingskromme vir elke temperatuurtoestand, wat besliste implikasies vir die lewensduurte van die materiaal inhou.

ABSTRACT

Non-stress related deformation of furfuryl alcohol polymer concrete

In this study attention is given to the deformation performance of furfuryl alcohol polymer concrete during and directly after polymerisation. The deformation equations of ordinary Portland cement concrete are used as a model, while the appropriate adjustment is made to bring the effect of polymerisation shrinkage into consideration. Experimental work was done to determine the deformation characteristics of material samples which were exposed to various temperature conditions, while being kept free from external stresses. These conditions of varying temperature are simulations of practical applications, where the material is exposed to high and low temperatures on a cyclic basis. Results show a different deformation curve for each of the temperature conditions, which will have a definite impact on the lifecycle of the material.

1. INLEIDING

Dit is algemeen bekend dat vervorming, hetsy termiese- of spanningsgebonde, 'n groot rol in die werkverrigting van 'n materiaal speel. Dit veroorsaak interne spannings in die materiaalatriks, wat kan lei tot mikrokrake, oneweredige spanningsverspreiding, groter deurlaatbaarheid en porositeit en ander nadelige nuwe-effekte. Dit is dus belangrik dat hierdie vervormingsproses by polimeriese materiale, waar daar dikwels 'n addisionale krimp tydens polimerisasie voorkom, ondersoek word, veral in die geval waar wisselende temperatuurtoestande ook betrokke is.

2. BASIESE EIENSKAPPE VAN VERVORMING

Volledigheidshalwe is dit nodig om eers die totale vervormingsvergelyking te definieer. Wanneer 'n eenassige belaste betonmonster ondersoek word, kan die totale vervorming (ϵ) soos volg geskryf word:¹

$$\epsilon = \epsilon_E + \epsilon_k + \epsilon_s + \epsilon_T \quad (1)$$

waar: ϵ_E die oombliklike vervorming onder direkte spanning a.g.v. die elasticiteit van die materiaal is;
 ϵ_k die kruipvorming a.g.v. die spanningtoestand is;
 ϵ_s die krimpvervorming is; en
 ϵ_T die temperatuurafhanklike vervorming is

Uit hierdie vergelyking blyk daar twee vervormingskomponente te wees, naamlik 'n spanningsgebonde komponent (ϵ') en 'n niespanningsgebonde komponent (ϵ''), waar:

$$\epsilon' = \epsilon_E + \epsilon_k$$

$$\epsilon'' = \epsilon_s + \epsilon_T$$

Vir die doel van hierdie studie word 'n onbelaste geval beskou en word dus slegs die laaste komponent (ϵ'') in ag geneem. Vir die termiese vervormingskomponent word die volgende vergelyking aanvaar:¹

$$\epsilon_T = \int_{T_0}^T \alpha \, dT \quad (2)$$

waar T_0 die aanvanklike temperatuur en α die termiese uitsettingskoeffisiënt is wat afhanklik is van die finale temperatuur (T) asook die voginhoud (w) van die monster. Wanneer krimpvervorming (ϵ_s) beskou word, word gevind dat dit beïnvloed word deur sowel interne as eksterne faktore. Die belangrikste interne faktore vir 'n betonmonster is die druksterkte of drukvastheid, die elasticiteitsmodulus van die aggreagaat, die persentasie aggreagaat in die mengsel asook die grootte en gradering van die aggreagaat. Dieselfde faktore geld vir 'n polimeerbeton, behalwe dat

die polimerisasie ook 'n groot rol speel. Voggehalte of waterinhoud in die mengsel het ook 'n groot invloed op die krimpingsproses affekteer, is temperatuur, ouderdom van die monster, humiditeit en monstergrootte.

3. POLIMEERBETON

Soos voorheen vermeld, is polimeerbeton onderhewig aan polimerisasiekrimping wat die waarde van ϵ_s weselik kan verhoog. Hierdie krimping is a.g.v. 'n volumevermindering van die monomeer tydens polimerisasie² wat selfs so hoog as 20% by sommige monomere kan wees. Hierdie krimping kan lei tot oppervlak- en interne krake asook tussenruimtes in die materiaalatriks, wat 'n verhoogde deurlaatbaarheid tot gevolg sal hê en ook interne spannings in die materiaal kan veroorsaak wat later tot verdere probleme mag lei. 'n Verdere ernstige nadeel van hierdie polimerisasiekrimping is dat dit swak of gebrekkige bindingslasse tussen die polimeerbeton en die omliggende materiaal kan veroorsaak. 'n Voorbeeld hiervan is vloerbedekkings of padrehabilitasie met 'n polimeerbeton, waar die onderliggende materiaal 'n Portlandsementbeton of 'n asfalt is.³ Swak lasse kan veroorsaak dat die bedekking onder lasaanwending lostrek of meegee, wat kan lei tot 'n algehele faling van die stelsel. Uit hierdie bespreking blyk dit dat dit noodsaaklik is om kennis te neem van polimerisasiekrimping wanneer daar na niespanningsgebonde vervorming van 'n polimeerbeton gekyk word.

3.1 Teoretiese beskouing van niespanningsgebonde vervorming by Polimeerbeton

Daar is reeds bewys dat hierdie vervorming uit twee komponente bestaan, naamlik die krimpvervorming (ϵ_s) en die termiese vervorming (ϵ_T).

Die toetsmateriaal in hierdie studie was furfurielalkohol-polimeerbeton (FAPB) wat 'n eksotermiese polimerisasiereaksie ondergaan, soortgelyk aan die meeste ander polimerisasiereaksies.⁵ Dit veroorsaak 'n verhoging van die materiaaltemperatuur tot ongeveer 90° C met 'n daaropvolgende afkoelingskromme. Figuur 1 toon die tipiese temperatuurkromme vir die materiaal.⁴

Polimerisasiekrimping vind tydens die tydperk waaroor

die kromme strek, plaas en is tweeledig van aard. Eerstens word kruisverbindinge tussen aangrensende polimeerkettings gevorm wat sodoende die molekulêre struktuur stewiger en stywer aanmekaar bind, met 'n gepaardgaande afname in volume. By epoksies vind hierdie krimping plaas voordat die finale verharding ingetree het en slegs sowat 1% naverhardingskrimping vind later plaas. By onversadigde poliësters en die furane vind hierdie volumetriese krimping plaas selfs na verharding; 'n afname van tot 7% in volume is al by ongevolde harse gemeet.⁵ Namate die vuller- of aggreagaatpersentasie egter toeneem, stabiliseer die krimping vanweë die kleiner volumes krimpande hars asook die temperatuur-stabilisasie-effek van die aggreagaat.²

Die tweede aksie wat krimpvervorming by polimeriserende materiaal teweegbring of vergroot, is in wese temperatuurgebonde. Dit vind plaas a.g.v. die afkoeling van die materiaal na die eksotermiese reaksie en is dus 'n inherente deel van die polimerisasiekrimping.

Die niespanningsgebonde vervorming (ϵ'') kan dus nou soos volg uitgebrei word:

$$\epsilon'' = \epsilon_{sp} + \epsilon_{sT} + \epsilon_T \quad (3)$$

waar: ϵ_{sp} die krimpvervorming a.g.v. die polimerisasiereaksie is en

ϵ_{sT} die krimpvervorming a.g.v. die afkoeling van die monster na die polimerisasiereaksie.

ϵ_T is steeds temperatuurvervorming wat a.g.v. eksterne temperatuurskommeling teweeggebring word.

Indien eksterne faktore soos kamertemperatuur en humiditeit tydens en na die polimerisasiereaksie konstant gehou word, is die waarde van $\epsilon_{sp} + \epsilon_{sT}$ vas vir 'n spesifieke polimeer in 'n vasgestelde mengsel. Indien die mengselverhouding verander (meer of minder aggreagaat of katalisator) sal hierdie waarde dan ook verander. Kukacka en Sugama⁶ het aangetoon dat krimping van FAPB (teen 'n konstante temperatuur van 20° C) by 219×10^{-5} cm/cm stabiliseer, d.w.s. ongeveer 0,22%. Dunn, Fowler en Paul⁷ het soortgelyke resultate verkry. Figuur 2 toon laasgenoemde resultate soos bepaal vir drie toetsmonsters gemeet by kamertemperatuur.

FIGUUR 1: Tipiese polimerisasiereaksie vir FAPB.

FIGUUR 2: Toetsresultate vir plastiese vervorming tydens polimerisasie (volgens Dunn, Fowler & Paul).⁷

'n Interessante punt wat duidelik hieruit blyk, is dat die monsters 'n aanvanklike swelling a.g.v. die hoë polimerisasietemperatuur getoon het en dat dit daarna gekrimp het om binne die eerste vyf ure te stabiliseer. Twee ander navorsers, Bushong en Steele,⁸ het soortgelyke navorsing gedoen en het gevind dat die grootste polimerisasiëkrimping wat by 'n FAPB voorkom, ongeveer 0,72% is. Hierdie metings is sewe dae na polimerisasie gedoen teen 'n konstante temperatuur van 20° C met 'n relatiewe humiditeit van 73%. Die hoër krimpswaardes soos deur Bushong en Steele bepaal, is te wyte aan 'n verskillende mengselontwerp.

3.2 Die invloed van temperatuur op die krimpvorming van polimeerbeton

Die vraag wat nou ontstaan, is watter invloed omgewings-temperatuur op die polimerisasiëkrimping het. In die vergelyking van niespanningsgebonde vervorming is daar twee temperatuurafhanklike terme, naamlik ϵ_{sT} en ϵ_T . Dit is redelik maklik om ϵ_T te bepaal deur gebruik te maak van vergelyking 2, mits α bekend is. Om die invloed van temperatuur op die polimerisasiëkrimping te bepaal (voorgestel deur ϵ_{sT}) is eksperimentele werk gedoen waar die monsters na die aanvanklike verharding aan verskillende temperatuurvlakke blootgestel en die daaropvolgende vervorming gemeet is.

4. EKSPERIMENTELE WERK

Vir die uitvoering van hierdie wisselende temperatuurtoetse is twintig FAPB-stafies vervaardig. Die toetsmateriaal het die volgende materiaalsamestelling gehad wat deur vorige navorsing op grond van bewerkbaarheid, settyd en ander eienskappe bepaal is:⁴

Aggregaat (vergruisde graniet)	80,6%
Monomeer (Furfurielalkohol)(FA)	10,8%
Katalisator (Orto-fosforsuur)	5,6%
Versneller (Sink-fosforsuur) (% van FA)	1,7%
Water	3,0%

(Persentasies uitgereik i.t.v. die totale monstermassa)

Elke stafie is volgens SABS 836 vervaardig en het 'n nominale grootte van 280 mm × 50 mm × 50 mm gehad. Vervormingsmetings is gedoen deur die afstand tussen twee

ingegote staalpenne op die ente van die staaf op 'n vergelykende toetsindikator te meet. Vier temperatuurreekse, bestaande uit vyf stafies elk, is ondersoek. Die eerste reeks is by 'n konstante temperatuur van 20° C ondersoek. Die tweede reeks toetse is by 'n hoë temperatuur (60–65° C) uitgevoer, terwyl die derde reeks by 'n lae temperatuur (1–6° C) gedoen is. Die finale reeks monsters is onderwerp aan 'n sikliese temperatuurtoestand d.w.s. tussen die hoë en lae temperature. Wisseling het op 'n daaglikse basis gedurende die toetsperiode plaasgevind. Die invloed van variërende humiditeit is in hierdie toetse buite rekening gelaat, aangesien die humiditeit in die toetsarea redelik konstant op 30% gehou word.

Die aanvanklike lengtelesing is geneem onmiddellik nadat die monster uit die vorm verwyder is (ongeveer 1 uur na plasing). Nadat die eerste lesing geneem is, is alle monsters by 20° C vir 24 uur gestoor voordat hulle na die verskillende temperatuurtoestande verskuif is. Hierna is vervormingslesings op 'n daaglikse basis geneem. Monsters in die hoë en laetemperatuurtoetsreeks is een vir een uit die temperatuurgebied geneem en is direk na lesing-neming teruggeplaas om sodoende afkoeling of verhitting te vermy. Die ykstaaf vir die meter is ook by 'n konstante temperatuur gestoor om verdere akkuraatheid te verseker. Die laaste lesings is tussen 100 en 120 dae na die aanvang van die toetse geneem en die resultate is verwerk om kurwes van vervorming teenoor tyd te stip. Gemiddelde waardes van elke vyf monstergroepe is gebruik nadat ooglopende uitskietspunte buite rekening gelaat is. Hierdie uitskietspunte was te wyte aan meet-, lees- en inponsfoute.

Figure 3, 4, 5 en 6 toon onderskeidelik die tipiese vervormingsgedrag van die toetsmonsters by lae, hoë, kamer- en sikliese temperature.

5. RESULTATE

Wanneer die vervormingskrommes van die vier temperatuursituasies bestudeer word, is dit baie duidelik dat die omgewingstemperatuur 'n prominente invloed op die vervormingscienskappe van die pasgepolimeriseerde materiaal het.

Uit figuur 3 (lae temperatuur), figuur 4 (hoë temperatuur) en figuur 6 (sikliese temperatuur) is dit duidelik dat die aanvanklike krimping, soos gemeet 24 uur na verharding ongeveer 0,04% is. Figuur 5 (kamertemperatuur) dui 'n aanvanklike krimping van 0,02% aan wat dus ietwat klei-

ner is as die vorige waardes. Dit blyk dat vir elke temperatuursituasie 'n totaal verskillende kromme gevolg word totdat dit uiteindelik by ongeveer 100 dae na polimerisasie stabiliseer.

Indien in gedagte gehou word dat die aanvanklike lengtemeting ongeveer een uur na plasing geneem is, d.w.s. nadat die monster reeds gedeeltelik afgekoel het na die bereiking van maksimum eksotermiese temperatuur ($\pm 70^\circ \text{C}$) gedurende die verhardingsproses, word die aanvanklike uitsetting a.g.v. hierdie verhoogde temperatuur nie in ag geneem nie. Hierdie lesing word gebruik as die aanvanklike lengte van die toetsstafies voordat verdere vervorming plaasvind. Die vervorming van die monsters soos gemeet na 24 uur by kamertemperatuur, sluit dus slegs die komponent a.g.v. die krimpvervorming, veroorsaak deur die polimerisasiereaksie (ϵ_{sp}), sowel as 'n gedeeltelike afkoelingskrimp (ϵ_{st}) in, omdat die monsters gedurende hierdie periode tot kamertemperatuur afkoel.

Wanneer die monster nou na hierdie aanvanklike afkoelingsperiode by 'n lae temperatuur ($\pm 5^\circ \text{C}$) gestoor word (figuur 3), word gevind dat die lae temperatuur as 'n inhibeerder vir enige verdere polimerisasie optree. Interne spannings wat a.g.v. die inisiële polimerisasiereaksie opgewek is, dissipeer of ontspan, wat tot 'n effense uitsetting van die materiaal lei. (Vergelyk die vervorming na twintig dae, wat ongeveer 0,03% is.) Na hierdie ontspanningsperiode vind normale temperatuurvervorming plaas en die monsters vervorm verder na 'n totale krimp van ongeveer 0,06%.

Indien die monsters egter by 'n hoë temperatuur (60°C) gestoor word (figuur 4), is dit duidelik dat die hoë temperatuur as 'n stimuleerder vir die polimerisasiereaksie optree, verdere polimerisasie met 'n gepaardgaande polimerisasiekrimp vind plaas totdat 'n maksimum waarde van ongeveer 0,15% na 'n twintigdaagtydperk bereik word. Alle moontlike monomere het teen hierdie tyd polimerisasie on-

FIGUUR 3: Krimp- en uitsettingseienskappe van FAPB by lae temperatuur ($1-6^\circ \text{C}$).

FIGUUR 4: Krimp- en uitsettingseienskappe van FAPB by hoë temperatuur ($60-65^\circ \text{C}$).

FIGUUR 5: Krimp- en uitsettingseienskappe van FAPB by kamertemperatuur ($\pm 20^{\circ}\text{C}$).

FIGUUR 6: Krimp- en uitsettingseienskappe van FAPB by sikliese temperatuur (tussen 5 en 60°C).

dergaan en polimerisasie termineer dus. Hierna vind spanningsdissipasie weer plaas totdat die monster by ongeveer $0,02\%$ krimpings stabiliseer wanneer dit by 'n konstante temperatuur van 60°C gestoor word.

Uit figure 3 en 4 kan 'n voorlopige waarde van α as ongeveer $8,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ bepaal word. Hier moet in gedagte gehou word dat die gepolimeriseerde samestelling van die monsters moontlik mag verskil en dus is die volgende berekening slegs 'n aanduiding:

$$\alpha = \frac{\Delta\epsilon}{\Delta T} \text{ met } \Delta\epsilon \text{ gemeet by stabilisasie soos aange- toon op die kurwes}$$

$$\text{met } \Delta\epsilon = 0,06 - 0,015\% = 0,045\% \\ \Delta T = (60 - 5)^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$$

$$\text{dus } \alpha = \frac{0,00045}{55} = 8,2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$$

In die geval waar die monsters by kamertemperatuur ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) gestoor word, soos voorgestel in figuur 5, word 'n maksimum aanvanklike krimpings van $0,02\%$ ondervind. Daar bestaan onduidelikheid oor die rede vir hierdie verskil in aanvanklike krimpings wanneer dit vergelyk word met die vorige waardes. Verdere eksperimentele werk is nodig om die verskynsel te ondersoek. Wat egter wel by hierdie temperatuursituasie belangrik is, is dat die monster na ongeveer veertig dae 'n positiewe vervorming (of uitsetting) ondergaan om by 'n waarde van $0,04\%$ uitsetting te stabiliseer teen ongeveer 100 dae na polimerisasie.

'n Moontlike verklaring vir hierdie uitsetting is dat die polimerisasiereaksie vroeg reeds geïnhibeer is a.g.v. die relatiewe lae temperatuur (ten minste 50°C is nodig om polimerisasie teweeg te bring). Spanningsdissipasie het met verloop van tyd plaasgevind tot dat daar voldoende intermolekulêre tussenruimtes beskikbaar was vir waterdamp om uit die atmosfeer daarin te beweeg en sodoende swelling te veroorsaak. Negatiewe ruimtedruk sou a.g.v. die spanningsdissipasie ontstaan, wat hierdie opname van

H₂O-molekules sou versnel. 'n Verdere bevestiging van hierdie verklaring was die feit dat die monsters wat by kamertemperatuur gestoor is, met 'n laag vogtigheid bedek was. Die rede waarom dieselfde uitsetting nie plaasgevind het by die hoëtemperatuurmonsters nie, is eerstens dat polimerisasie volledig plaasgevind het a.g.v. die hoë temperaturomgewing en tweedens weens die laer humiditeit in die hoëtemperatuurroond.

Figuur 6 toon 'n interessante temperatuurgebonde vervormingseienskap van die materiaal. In hierdie geval is die temperatuur van die monsters daaglik tussen 5° C en 60° C gewissel. So 'n situasie is tipies van pad- of aanloopbaanoppervlaktes wat aan dag- en nagtemperatuursskommelings blootgestel is. 'n Ander soortgelyke geval word gevind by vloere van abattoirs wat tydens die skoonmaakproses met warm water of stoom, gevolg deur koue water, afgespuit word. Uit figuur 6 blyk dit dat die krimpings na die eerste 24 uur in die laetemperatuurgebied ook in die omgewing van 0,04 % was, soortgelyk aan die laetemperatuurgeval in figuur 3. Hierna het wisseling tussen 60° C en 5° C plaasgevind. Wanneer die temperatuur egter na 60° C gestyg het, het 'n duidelike uitsetting van die monster gevolg. Die boonste kurwe in figuur 6 dui hierdie uitsetting wat by 60° C plaasvind aan.

'n Verklaring vir hierdie gedrag lê in die feit dat die polimerisasiereaksie tydens die laetemperatuurstoring beëindig is. Normale temperatuuruitsetting (ϵ_T) het na verskuiwing van die monster na die 60° C-gebied plaasgevind. Addisionele polimerisasie het nou a.g.v. die hoër temperatuur plaasgevind en na verskuiwing na die laetemperatuurgebied vir die volgende siklus is daar saam met normale temperatuurkrimpings 'n groter krimpings as die vorige siklus gemeet. Hierdie neiging het voortgeduur tot ongeveer 100 dae na polimerisasie, waarna albei kurwes afgeplat het. Die krimpings by 60° C na stabilisasie is ongeveer 0,18 %, terwyl dit by 5° C ongeveer 0,23 % is. Wat in hierdie geval interessant is, is dat, alhoewel die monster naastenby dieselfde maksimum krimpings bereik as die monster wat aaneenlopend by 60° C gestoor is (0,18 % teenoor 0,15 %), daar nie 'n uitsetting a.g.v. interne spanningsdissipasie plaasvind nie. In die wisselende temperatuurgeval stabiliseer die krimpvervorming teen 0,18 % by 60° C, terwyl dit by die kontinue stoorings teen 60° C stabiliseer by 0,015 %.

Hierdie verskynsel kan verklaar word deur te kyk na die polimerisasieverloop van die monster. Die polimerisasie vind stapsgewys plaas en genoegsame tyd verloop dus om die opbou van interne spannings te minimiseer. Verder verseker die temperatuurskommeling dat enige interne spannings wat wel mag bestaan, vasgehou word in die ruimtestruktuur van die materiaal. Spanningsdissipasie vind dus nie meer prominent plaas nie en gevolglik is daar nie 'n gepaardgaande uitsetting nie. In die eerste gedeelte van die kromme op figuur 6 (tussen 0 en 40 dae) speel sowel ϵ_s as ϵ_T 'n rol. In die geval van ϵ_s , waar dit verdeel kan word in ϵ_{sp} en ϵ_{vT} (vergelyking 3), is dit veral ϵ_{sp} wat hier die prominente rol speel. As 'n waarde vir α by 40 dae bereken word, word dit as ongeveer $18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ bepaal. Dit dui dus op 'n ongestabiliseerde toestand

$$\text{met } \Delta\epsilon = 0,00215 - 0,00115$$

$$\Delta T = 55^\circ\text{C}$$

$$\text{dus } \alpha = 18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$$

In die gestabiliseerde gebied, d.w.s. 100+ dae word α as $9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ bepaal. Die laaste waarde stem dus binne 10 % ooreen met die waarde van $8,2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ soos uit figure 3 en 4 bepaal. Die hoër waarde van $18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ in die ongestabiliseerde gebied dui dus inderdaad daarop dat polimerisasiekrimpings tesame met temperatuurkrimpings voorkom.

6. GEVOLGTREKKING

Uit die eksperimentele resultate is dit duidelik dat die temperaturomgewing waarin 'n gepolimeriseerde polimeerbeton hom bevind, 'n bepalende rol in die niespanningsgebode vervorming van die materiaal speel. Afhangende van die omgewingstemperatuur word totaal verskillende vervormings teenoor tyd krommes gevolg. Hierdie gedrag moet terdeë in gedagte gehou word waar polimeerbeton as 'n oorliggende laag gebruik word, hetsy in pad- of aanloopbaanrehabilitasiewerk, industriële vloerbedekkings of korrosiebestaande lae in pype of opgaartenks. Hierdie variërende vervorming kan swak binding tussen die onderliggende materiaal en die polimeerbeton tot gevolg hê, wat nie net die leeftyd van die samestelling kan verkort nie, maar kan ook die goeie eienskappe van die polimeerbeton (soos lae deurlaatbaarheid en hoë treksterkte) nadelig beïnvloed.

Die beste voorsorgmaatreël wat getref kan word, is om seker te maak dat polimerisasie volledig plaasgevind het voordat temperatuurskommeling toegeleat word. Deur dit te doen blyk die temperatuuruitsettingskoëffisiënt in dieselfde orde as gewone Portlandsementbeton te wees (α vir GPS-beton is ± 9 tot $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$).

Om volledige polimerisasie by furfurielalkohol-polimeerbeton te verseker moet die hoë temperatuur vir ten minste twintig dae vir die bestaande mengsel gehandhaaf word, of 'n gewysigde katalis/versnellersisteem moet in die bestaande mengsel ingevoer word. Omdat die twintigdaetydperk onprakties is en ook die voordeel van snelverharding van FAPB uitkakel, blyk dit dus nodig te wees om addisionele navorsing te onderneem om 'n beter katalisversnellersisteem te ontwikkel, veral indien die materiaal aan oormatige temperatuurskommeling blootgestel sal word gedurende die leeftyd daarvan.

VERWYSINGS

1. Bazant, Z.P., (1982). *Mathematical models for creep and shrinkage of Concrete* (John Wiley).
2. Polymers in Concrete (1977). *ACI Committee Report 548*. USA.
3. Kruger, D. & Holm, M.F.K. (1986). Field tests using polymer concrete to repair damaged road surfaces at Sezela, Natal, *Civil Engineer in S.A.*, Volume 28, 23-24.
4. Kruger, D. (1987). Development of Furfuryl alcohol polymer concrete for S.A. Applications, M.Eng. Dissertation, RAU, Johannesburg.
5. *Concrete Society Technical Report No. 9* (1987). The Concrete Society (United Kingdom), p. 14.
6. Polymer Modified Concretes (1987). *ACI SP 99 Report* (United States of America), P. 97.
7. Dunn, M.M. Fowler, D.W. & Paul, D.T. (1983). Mechanical and Durability Properties of a Furan Resin Polymer Concrete, *Research Report*, University of Texas at Austin.
8. Bushong, R.M. & Steele, C.J. (date unknown). *Furan Polymer Concrete: A Candidate Material for Industrial Corrosive Environments* (Georgia, USA).

$$\text{waar } \alpha = \frac{\Delta\epsilon}{\Delta T}$$