

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 1

Beton en Brandveiligheid

Stufib studiecel 1

september 2002

Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Samenvatting	5
Termen en definities	9
Inleiding	13

1. Wettelijke bepalingen en richtlijnen

1.1	Wettelijke bepalingen	15
1.1.1	Wet Milieubeheer (Wmb)	15
1.1.2	Arbeidsomstandighedenwet (ARBO-wet)	16
1.1.3	Woningwet, Bouwbesluit en Bouwverordening	17
1.2	Richtlijnen, normen en brandbeveiligingsconcepten	18
1.3	Vergunningen	18
1.3.1	Gebruiksvergunning / bouwvergunning	18
1.3.2	Procedure bouwvergunning	19
1.3.3	Plangegevens en presentatie	19
1.4	Voorwaarden van verzekeringsmaatschappijen	21
1.5	Wensen van eigenaar, financier en gebruiker	21
1.6	Geraadpleegde literatuur	22

2. Uitgangspunten voor de brandveiligheid van gebouwen

2.1	Uitgangspunten voor de overheid en verzekeraars	23
2.2	Het verloop van een brand	23
2.3	Brandveilig ontwerpen	25
2.4	Voorkomen van het ontstaan van brand	25
2.5	Beheersen van een beginnende brand	26
2.6	Bestrijden van een zich ontwikkelende brand in de groeifase	26
2.6.1	Beperken van de verspreiding van rook	26
2.6.2	Rookcompartimentering	27
2.6.3	Rook- en warmte-afvoer	27
2.7	Vluchtwegen	27
2.8	Beperken van de uitbreiding van een volledige ontwikkelde brand	28
2.8.1	Beperken van de uitbreidingsmogelijkheden van de brand	28
2.8.2	Weerstand tegen branddoorslag bij betonconstructies	29
2.8.3	Instandhouden van (draag)constructies	30
2.9	Vuurbelasting	31
2.10	Standaard brandkrommen	33
2.11	Eisen brandwerendheid	35
2.12	Geraadpleegde literatuur	40

3. Brandveilig construeren in beton

3.1	Inleiding	41
3.1.1	Belastingen	43
3.2	Materiaaleigenschappen bij brand	45
3.3	Temperatuurverloop tijdens brand	46
3.4	Spatten van grindbeton	48
3.4.1	Inleiding	48
3.4.2	Verschijningsvormen	49
3.4.3	Oorzaken van spatten van grindbeton	50

3.4.4	Omstandigheden die van invloed zijn op de kans op spatten	52
3.4.5	Maatregelen die het gevaar voor spatten beperken	53
3.5	Stabiliteit en vervorming	54
3.6	Rekenvoorbeelden	57
3.6.1	Vrij opgelegde en over meerdere steunpunten doorgaande balk	57
3.6.2	Kolom	64
3.6.3	Rekenkundige bepaling van de brandwerendheid van dragende wanden	68
3.7	Geraadpleegde literatuur	69
4.	Toetsing brandwerendheid met behulp van tabellen	
4.1	Betonnen bouwdelen	71
4.2	Betonnen balken	72
4.3	Betonnen kolommen	74
4.4	Betonnen vloeren	75
4.5	Dragende betonnen wanden	77
4.6	Geraadpleegde literatuur	78
5.	Europese regelgeving	
5.1	Inleiding / Introduction	79
5.2	Basic principles and rules (prEN 1992-1.2, Section 2)	80
5.3	Material properties (prEN 1992-1.2, Section 3)	80
5.3.1	Mechanical properties	80
5.3.2	Thermal properties	81
5.4	Design methods (prEN 1992-1.2, Section 4)	81
5.4.1	Simplified calculation methods	81
5.4.2	Shear, torsion and anchorage	82
5.4.3	Spalling	82
5.4.4	Joints	82
5.5	Tabulated data (prEN 1992-1.2, Section 5)	82
5.5.1	Columns	83
5.5.2	Walls	84
5.5.3	Tensile members	85
5.5.4	Beams	85
5.5.5	Slabs	87
5.6	High Strength Concrete (prEN 1992-1.2, Section 6)	89
5.7	Geraadpleegde literatuur	90
6.	Conclusies en aanbevelingen	
6.1	Inleiding	91
6.2	Conclusies	91
6.3	Aanbevelingen	92
6.4	Geraadpleegde literatuur	93
7.	Literatuur	95
Bijlagen		
1.	Netto verbrandingswaarden	99
2.	VBC Beton	101
Belangrijke adressen		103

Samenvatting

Hoofdstuk 1

In dit hoofdstuk worden de drie wetten beschreven waarop de brandveiligheid van bouwconstructies juridisch is gefundeerd. De nadere uitwerking van deze wetgeving in Algemene maatregelen van bestuur (AmvB's) wordt geschetst, alsmede de wijze waarop de toetsing van de regelgeving is georganiseerd.

Hoofdstuk 2

Dit hoofdstuk besteedt aandacht aan de uitgangspunten van brandveiligheid van gebouwen. Het brandproces wordt nader toegelicht met brandveiligheidsmaatregelen die tijdens het verloop van een brand kunnen worden toegepast. Hierbij komen begrippen als compartimentering, vluchtwegen en branddoorslag aan de orde. Vervolgens wordt ingegaan op de vuurbelasting van een gebouw en de brandkrommen. Ten slotte worden de eisen voor brandwerendheid volgens het Bouwbesluit 2002 op een praktische wijze weergegeven.

Hoofdstuk 3

In dit hoofdstuk worden de materiaalkundige aspecten nader toegelicht van constructief beton, belast door brand. Het gaat hierbij behalve over sterkteverlies bij toenemende temperatuur, over het spatten van beton in de opwarmingsfase. Tot slot zijn rekenvoorbeelden gemaakt waarin op basis van NEN 6071 wordt aangegeven hoe de brandwerendheid van betonnen bouwdelen rekenkundig kan worden aangetoond.

Hoofdstuk 4

In dit hoofdstuk zijn de tabellen en overige randvoorwaarden, zoals omschreven in bijlage A van NEN 6071 opgenomen. Bij de opzet van dit hoofdstuk is ook gebruik gemaakt van de informatie zoals omschreven in art.9.3 van NEN 6720 en heeft de intentie om de gebruiker een maximaal gebruiksgemak te bieden.

Hoofdstuk 5

Dit hoofdstuk bevat een overzicht van de 'highlights' van de nieuwe Europese norm voor het bepalen van de brandwerendheid van betonnen bouwdelen, de prEN 1992-1-2 [3]. In verband met voorkomen van mogelijke vertaalfouten, is dit hoofdstuk in de oorspronkelijke (Engelse) taal geschreven

Hoofdstuk 6

In dit hoofdstuk heeft de studiecél al haar bevindingen samengevat. Het betreft zowel conclusies die direct volgen uit de uitgevoerde studie én meer algemene conclusies die in het verlengde liggen van de bestudeerde theorie en regelgeving.

Slotopmerking

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met de geraadpleegde literatuur. Het rapport besluit met een lijst met alle literatuur die is geraadpleegd en/of literatuur die de studiecél in het kader van deze studie relevant en waardevol acht.

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 2

Reinforcement in concrete structures

***Backgrounds and practical implications of
cracking-related code regulations***

Stufib task group 157

september 2006

Contents

1	Introduction and scope of the research	1
1.1	Introduction	1
1.2	Aim of the research and contents of the report	1
2	Case-study	3
2.1	Introduction	3
2.2	Presentation case-study	3
2.3	Working examples	5
2.3.1	Introduction	5
2.3.2	Eurocode 2	5
2.3.3	ACI	8
2.3.4	DIN	10
2.3.5	VBC	13
2.3.6	BS 8110	16
2.3.7	CEB-FIP Model Code	20
3	Discussion	23
3.1	Introduction to the graphs	23
3.2	Conclusions	23
3.2.1	General conclusions	23
3.2.2	Conclusions after comparison of regulations	24
3.2.3	Conclusions within regulations	24
3.3	Influence of prestressing	26
3.4	Recommendations	28

Appendix I

1	Introduction and scope of the research	1
1.1	Introduction	1
1.2	Aim of the research and contents of the report	1
2	Case-study	3
2.1	Introduction	3
2.2	Presentation case-study	3
2.3	Working examples	5
2.3.1	Introduction	5
2.3.2	Eurocode 2	5
2.3.3	ACI	8
2.3.4	DIN	10
2.3.5	VBC	13
2.3.6	BS 8110	16
2.3.7	CEB-FIP Model Code	20
3	Discussion	23
3.1	Introduction to the graphs	23
3.2	Conclusions	23
3.2.1	General conclusions	23
3.2.2	Conclusions after comparison of regulations	24
3.2.3	Conclusions within regulations	24
3.3	Influence of prestressing	26
3.4	Recommendations	28
4	Theoretical background of crack width formulae	3
4.1	Reinforced concrete tensile members with uniformly distributed reinforcement	3
4.1.1	Semi-empirical relations	3

	4.1.2	Analytical models	5
	4.2	Reinforced concrete beams loaded in bending	7
	4.2.1	Semi-empirical relations	7
	4.2.2	Analytical models	9
	4.3	Backgrounds of codes	10
	4.4	References	11
1		Introduction	15
5		Material properties	17
	5.1	Eurocode 2	17
	5.1.1	Concrete - compressive strength	17
	5.1.2	Concrete - tensile strength	17
	5.1.3	Concrete - modulus of elasticity	17
	5.1.4	Concrete - stress-strain diagram	17
	5.1.5	Reinforcing steel	19
	5.1.6	Prestressing steel	19
	5.2	ACI	20
	5.2.1	Concrete - compressive strength	20
	5.2.2	Concrete - tensile strength	20
	5.2.3	Concrete - modulus of elasticity	20
	5.2.4	Concrete - stress-strain diagram	21
	5.2.5	Reinforcing steel	21
	5.2.6	Prestressing steel	21
	5.3	DIN	22
	5.3.1	Concrete – compressive strength	22
	5.3.2	Concrete – tensile strength	22
	5.3.3	Concrete – modulus of elasticity	22
	5.3.4	Concrete – stress-strain diagram	22
	5.3.5	Reinforcing steel	24
	5.3.6	Prestressing steel	25
	5.4	VBC	26
	5.4.1	Concrete – compressive strength	26
	5.4.2	Concrete – tensile strength	26
	5.4.3	Concrete – modulus of elasticity	26
	5.4.4	Concrete – stress-strain diagram	27
	5.4.5	Reinforcing steel	27
	5.4.6	Prestressing steel	28
	5.5	BS 8110	29
	5.5.1	Concrete – compressive strength	29
	5.5.2	Concrete – tensile strength	29
	5.5.3	Concrete – modulus of elasticity	29
	5.5.4	Concrete – stress-strain diagram	30
	5.5.5	Reinforcing steel	30
	5.5.6	Prestressing steel	31
	5.6	CEB-FIP Model Code	31
	5.6.1	Concrete – compressive strength	31
	5.6.2	Concrete – tensile strength	32
	5.6.3	Concrete – modulus of elasticity	33
	5.6.4	Concrete – stress-strain relation in compression	34
	5.6.5	Reinforcing steel	35
	5.6.6	Prestressing steel	35
6		Limit states	37
	6.1	Eurocode 2	37
	6.1.1	Loads	37

	6.1.2	Materials	38
6.2	ACI		38
	6.2.1	Loads	38
	6.2.2	Materials	40
6.3	DIN		40
	6.3.1	Loads	40
	6.3.2	Materials	42
6.4	VBC		42
	6.4.1	Loads	42
	6.4.2	Materials	43
6.5	BS 8110		44
	6.5.1	Loads	44
	6.5.2	Materials	45
6.6	CEB-FIP Model Code		45
	6.6.1	Loads	45
	6.6.2	Materials	47
7	Exposure classes		49
7.1	Eurocode 2		49
	7.1.1	Exposure classes	49
	7.1.2	Concrete cover	49
	7.1.3	Crack width	50
7.2	ACI		50
	7.2.1	Exposure classes	50
	7.2.2	Concrete cover	51
	7.2.3	Crack width	52
7.3	DIN		52
	7.3.1	Exposure classes	52
	7.3.2	Concrete cover	54
	7.3.3	Crack width	55
7.4	VBC		55
	7.4.1	Exposure classes	55
	7.4.2	Concrete cover	55
	7.4.3	Crack width	56
7.5	BS 8110		56
	7.5.1	Exposure classes	56
	7.5.2	Concrete cover	57
	7.5.3	Crack width	57
7.6	CEB-FIP Model Code		58
	7.6.1	Exposure classes	58
	7.6.2	Concrete cover	58
	7.6.3	Crack width	59
8	Control of cracking		61
8.1	Eurocode 2		61
	8.1.1	Control without direct calculation	61
	8.1.2	Control by direct calculation	62
8.2	ACI		63
	8.2.1	Control without direct calculation	63
	8.2.2	Control by direct calculation	64
8.3	DIN		65
	8.3.1	Control without direct calculation	67
	8.3.2	Control by direct calculation	68
8.4	VBC		69
	8.4.1	Introduction	69

8.4.2	Fully developed crack pattern	70
8.4.3	Not fully developed crack pattern	71
8.4.4	Testing according to tensile stresses	71
8.5	BS 8110	72
8.5.1	Control without direct calculation	72
8.5.2	Control by direct calculation	74
8.6	CEB-FIP Model Code	75
8.6.1	Design principle and requirements	75
8.6.2	Design criteria with respect to cracking	75
8.6.3	Control without direct calculation	75
8.6.4	Control by direct calculation	77
9	Maximum and minimum reinforcement values	81
9.1	Eurocode 2	81
9.2	ACI	81
9.3	DIN	82
9.4	VBC	82
9.5	BS 8110	83
9.6	CEB-FIP Model Code	84
10	List of symbols	85
10.1	Eurocode 2	85
10.2	ACI	86
10.3	DIN	87
10.4	VBC	88
10.5	BS 8110	89
10.6	CEB-FIP Model Code	90
 Appendix III		
	Results (table)	95
	Results (graphs, all results of each code)	96
	Results (graphs, codes combined)	102
	 END OF DOCUMENT	 119

1 Introduction and scope of the research

1.1 Introduction

The reinforcement in concrete structures is generally designed to satisfy all the rules presented in the codes. These rules arise from requirements with respect to safety, esthetics, durability and serviceability. So far as safety is concerned, the behaviour of common concrete structures is well known, resulting in widely accepted formulae. With regard to esthetics, durability and serviceability, cracking is one of the major issues. The occurrence of cracks is inherent to most reinforced concrete structures. Therefore, the cracking behaviour is studied for many years. Most research was restricted to describing crack width and crack spacing in a semi-empirical manner: the cracking behaviour was described on the basis of relatively simple calculation models (e.g. CEB, 1959). The simplicity of the models led to the introduction of a number of coefficients. When tuned to experimental results, good agreement between experiment and calculation could be obtained for a number of cases.

In the last decades, theoretical models were developed (e.g. Noakowski, 1978, 1985; Fehling and König, 1988). These models are based on a formulation describing the actual physical behaviour. Fundamental experimental research and finite element (FE) analyses provided the information needed to describe the basic components.

1.2 Aim of the research and contents of the report

The aim of this research is to provide information about the impact of crack width requirements on the amount of reinforcement required in concrete structures. The difference between the amounts of reinforcement required in ultimate limit state (ULS), serviceability limit state (SLS) and minimum reinforcement might indicate the impact of crack width control. Special attention must be focused on the influence of parameters such as concrete cover, bar diameter, bar spacing etc.

In the calculations, the results according to six codes were compared, namely:

ACI: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-95) and Commentary – ACI 318RM-95

American Concrete Institute, Farmington Hills, MI 48333, 1995, 371 pages.

BS 8110 – Structural use of concrete

British Standard Institution, London.

Part 1: 1997, Code of practice for design and construction, 118 pages.

ISBN 0 580 26208 1, ICS 91.080.40

Part 2: 1985, Code of practice for special circumstances, 41 pages.

UDC 624.012.3/.4+691.3

CEB/FIP Model Code 1990- Design Code

Thomas Telford, 1993, 437 pages. Printed in Great Britain by Redwood Books, Towbridge, Wiltshire.

DIN 1045-I (Entwurf) Control, reinforced and prestressed concrete structures - Part 1: Design

february 1997, Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 143 pages.

Note: this is a preliminary version of the DIN 1045-I and the contents can thus change due to comments of the users.

Eurocode 2: Design of concrete structures; part 1-1: General rules and rules for buildings

ENV 1992-1-1: 1991. European prestandard. 1st edition, CEN, Brussels, June 1995.

Including European list of corrections ENV 1992-1-1: 1991/AC: 1992. 253 pages.

NEN 6720; Regulations for concrete TGB 1990 – Structural requirements and calculation methods (VBC 1995)

2nd edition, September 1995, CUR & NNI, 245 pages.

Not only crack width checks but also crack width limits, reinforcement detailing, concrete properties, stress – strain diagrams etc. are regarded since this check can not be regarded as an isolated item. Therefore, after this introductory chapter, the report is split in two parts: In chapters 2 and 3 the setup of working examples is presented, calculation results are discussed and conclusions are drawn. In the appendices, an overview is presented of theoretical backgrounds of the cracking behaviour of reinforced concrete structures and of the codes' contents relevant in this research (appendices I and II, respectively). In appendix III the results of the working examples are presented in tables and graphs.

STUfib study cell no.157:

dr.ir.drs. C.R. Braam (chairman, contact)	c.r.braam@citg.tudelft.nl	TU Delft, Faculty CiTG, Concrete structures Stevinweg 1 P.O. box 5048 2628 CN Delft
ir. R.S. Beurze (mentor)	rbeurze@hbgciviel.nl	HBG Civiel H.J. Nederhorststraat 1 P.O. box 63 2800 AB Gouda
ir. M. van Grootveld	m.vgrootveld@bwd.rws.minvenw.nl	Bouwdienst RWS Prof. Cobbenhagenlaan 225 P.O. box 1286 5004 BG Tilburg
dr. N. Han, B.Sc.	n.han@bouw.tno.nl	TNO Bouw Lange Kleiweg 5 (Rijswijk) P.O. box 49 2600 AA Delft
ir. D.P. Heikoop	dpheikoop@hotmail.com	NBM-Amstelland Multiconsult Bijster 1 P.O. box 3325 4800 DH Breda
ir. M.J. Hop	mhop@hbgciviel.nl	HBG Civiel H.J. Nederhorststraat 1 P.O. box 63 2800 AB Gouda
ir. M.J.W. van Osch	m.j.w.osch@arcadis.nl	Arcadis Bouw/Infra Gevers Deynootweg 93 P.O. box 84319 2508 AH Den Haag
ir. F.C.J. Schuitemaker	fschuitemaker@hsl1.nl	Ballast Nedam Engineering Laan van Kronenburg 2 P.O. box 2118 1180 EC Amstelveen

Hoogwaardig beton

met zijn specifieke eigenschappen voor
toepassing in de prefab-betonindustrie

Stufib (Stupré) studiegroep 78 /
Stufib-rapport 3

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

INHOUDSOPGAVE RAPPORT 3: HOOGWAARDIG BETON

Voorwoord	1
A. Inleiding	2
B. Uitkomsten van onderzoek.....	3
1. Natte verbindingen.....	3
2. Vakwerken in hoogwaardig beton.....	5
3. Vloeren.....	7
4. Rioleringen, reservoirs.....	8
C. Nabeschuiving	8
Bijlage I: Natte verbindingen in hoogwaardig beton	9
Bijlage II: Vakwerkliggers in hoogwaardig beton	19
Bijlage III: Vloeren in hoogwaardig beton	24
1. Inventarisatie en algemene voor- en nadelen H.W.B.	25
2. Nieuwe toepassing / Modulair vloersysteem	27
Bijlage IV: Riolering, reservoirs in hoogwaardig beton	33

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 4

Bouwproces Arbobesluit en de Constructeur

Stufib (Stuvo) studiecel 153

november 2000
met aanvullingen februari 2003

INHOUD

	Gebruikte afkortingen	3
	Woord vooraf	4
1.	Inleiding	5
2.	Wat is het Bouwproces Arbobesluit en wat is de betekenis ervan voor de constructeur?....	7
3.	Taken en verantwoordelijkheden inzake het Bouwproces Arbobesluit.....	10
3.1	Beschrijving van Bouwproces Arbobesluit	10
3.2	Taken en verplichtingen van betrokken partijen.....	10
4	Specifieke situaties.....	12
4.1	Het voorspannen van beton	12
4.2	Specifieke VGW-risico's bij ondergronds bouwen	13
5	Palet aan hulpmiddelen constructeur/ontwerper.....	14
5.1	Basisinformatie	14
5.2.	Checklist	14
5.3	Procesbeschrijvingen/activiteiten+verplichtingen per fase.....	14
5.4	Voorbeelden	14
5.5	Opleiding	14
6	Evaluatie	15
6.1	De bedoeling van het bouwprocesbesluit	15
6.2	De praktijk.....	15
6.3	Knelpunten bouwprocesbesluit	18
6.4	Arbeidsinspectie, BPAB en V&G-preventie bij bouwontwerp	19
6.5	Aanbeveling aan de leden van de Stufib.....	19
7	Samenvatting.....	21
Bijlagen:		
1	Verslag 4 ^e Stufib-ledenvergadering d.d. 7 december 2000	23
2	Afstudeerwerk Ir. B. van Halen.....	25
3	TNO kritiek op V&G-plan	30
4	Standaardvragenlijsten & Praktijkaanpak	32
A	Stellingen.....	35
B	Literatuur	36
C	Mindmap.....	37
D	Evaluaties gericht op kennisoverdracht ten aanzien van vgw-risico's	38
E	Arbo-zorg gericht op de uitvoerenden (tijdens de bouw)	39
F	Register van V&G-documenten.....	41
G	Kennisgeving van het voorgenomen tot stand brengen van een bouwwerk	42
H	Profiel Arbo-coördinator ontwerpfase.....	43
I	Schema VROM/ARBOUW	44
J	Inventarisatie van bijzondere risico's	50
K	Checklist: Betonskeletbouw	54
L	Checklist: Sloopwerkzaamheden	55
M	Werkplan (Spanstaal).....	57
N	Veiligheid (Samaco)	60
O	Risico's bij aanbrengen voorspanning (Dywidag)	63

7. Samenvatting

Waar gaat het om:

- om de veiligheid op de bouwplaats;
- om de arbeidsomstandigheden van bouwvakkers en andere medewerkers;
- maar ook om de veiligheid van passanten, omwonenden, toeschouwers, etc.

Analogie tussen Arbozorg en kwaliteitszorg:

- preventie: eerst nadenken dan pas doen;
- zorgen voor structuur: organisatie (taken, bevoegdheden, verantwoordelijkheden) en communicatie en informatie (weten wat je moet doen en hoe je het moet doen);
- zorgvuldigheid = een kwestie van mentaliteit;
- procesgerichtheid: van positioneel organiseren naar transactioneel organiseren;

Hierbij zijn er vier verschillende invalshoeken te onderscheiden:

- regels, procedures en voorschriften (Arbo-wet, Arbobesluit);
- bedrijfskundige benadering (kostengericht);
- procesinhoudelijke benadering (verbetermogelijkheden);
- persoonlijke toewijding (mensgericht).

De essentie is:

- inhoudelijke kennis van het (bouw)proces en de meest kritische aspecten daarvan, zowel het bouwvoorbereidingsproces als het realisatieproces;
- alertheid op het veiligheids- en Arbo-aspect (je moet er oog voor krijgen);
- begrip over de betekenis van arbeidsomstandigheden en de consequenties van slechte arbeidsomstandigheden;
- een mentaliteit van toewijding en inlevingsvermogen (empathie en maatschappelijk bewustzijn).

Invalshoek van regels en procedures:

- Arbo-wet;
- BPAB, Arbobesluit;
- AI-bladen (informatiebladen van de Arbeidsinspectie);
- NEN-normen (hijskranen, bouwliften, bouwsteigers, etc.)

Bedrijfskundige invalshoek:

- onkosten ten gevolge van ongelukken en bijna ongelukken;
- maatschappelijke effecten van ongelukken (imagoverlies);
- gevolgen van vertragingen ten gevolge van (bijna) ongelukken;
- uniformiteit: alle uitvoerende partijen moeten werken volgens dezelfde uitgangspunten.

Procesgerichte invalshoek:

- procesanalyse;
- leren van je fouten en van andermans fouten (bijvoorbeeld op andere projecten);
- door een goede voorbereiding kan je een hoop problemen elimineren.

Sociale invalshoek:

Afhankelijk van de omvang en complexiteit van een bouwproject kan je op voorhand op basis van de statistiek het aantal ongevallen voorspellen en dat betekent dat je eigenlijk tevoren incalculeert:

- individuele gevolgen van een (ernstig) ongeval;

maar denk ook aan:

- werksfeer ("veiligheidscultuur");
- verloop van personeel, werving en selectie van nieuw personeel;
- teambuilding;
- maatschappelijke gevolgen en beeldvorming over het project.

Wettelijke vereist is onder meer:

- coördinator ontwerpfase;
- risico-inventarisatie maken tijdens het ontwerp;
- contractuele bepalingen opnemen in het bestek;
- coördinator uitvoeringsfase;

- kennisgeving aan de Arbeidsinspectie;
- overleg organiseren.

Met regels alleen dwing je Arbo & veiligheid niet af:

- ontwerpers voelen zich beperkt want ze moeten toch al met zoveel randvoorwaarden rekening houden;
- en aannemers laten zich niet zo eenvoudig leiden en controleren, (zoals de NEN-ISO-certificaten wel hebben duidelijk gemaakt).

Hoe dwing je het dan wel af:

- door het simpel en praktisch te houden;
- door je medewerkers goed voor te bereiden door middel van opleiding, voorlichting, hulpmiddelen;
- door je bijtijds voor te bereiden;
- door heel duidelijk te zijn over eisen en plichten van medewerkers op de bouwplaats;
- door een strikt regime met betrekking tot veiligheid (zoals bijvoorbeeld in de procesindustrie) zonder concessies;
- door ervoor te zorgen dat iedereen zonder problemen de faciliteiten krijgt die hij/zij nodig heeft (denk aan werkkleding, persoonlijke beschermingsmiddelen, hulpmiddelen, etc.);
- door altijd zelf het goede voorbeeld te geven;
- door er herhaaldelijk aandacht aan te besteden/voor te vragen;
- door het onderwerp te integreren in de dagelijkse gang van zaken (vast agendapunt bij ontwerp- en bouwvergaderingen en bij werkbijeenkomsten).

Arbeidsomstandigheden moeten een integraal deel worden van het planningsproces en de technische coördinatie, zowel tijdens de ontwerpfase als tijdens de uitvoeringsfase.

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 5

Praktische richtlijnen voor het injecteren van voorspankanalen

Stufib studiecel 3

juni 2003

Inhoudsopgave

Woord vooraf	i
Inhoudsopgave	iii
Samenvatting	1
 1. Inleiding	 3
2. Vormen voorspankanalen - omhullingen	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Omhullingen.....	5
2.3 Plaatsen van de omhullingen.....	6
3. Samenstelling en eigenschappen van injectiemortel.....	9
3.1 Materialen	9
3.1.1 Algemeen	9
3.1.2 Cement.....	9
3.1.3 Water.....	9
3.1.4 Hulpstoffen	9
3.1.5 Vulstoffen.....	9
3.2 Traditionele en hoogwaardige injectiemortels.....	9
3.3 Mengprocedure bij het aanmaken van injectiemortel.....	10
3.4 Eisen te stellen aan de injectiemortel.....	10
3.4.1 Consistentie.....	10
3.4.2 Waterafscheiding	11
3.4.2.1 Traditionele mortels.....	11
3.4.2.2 Hoogwaardige mortels	11
3.4.3 Volumeverandering	11
3.4.4 Vorstgevoeligheid	11
3.4.5 Sterkte.....	12
3.4.6 Temperatuur.....	12
3.4.7 Schadelijke stoffen.....	12
3.4.8 Ouderdom van het cement	12
3.5 Proeven.....	13
3.5.1. Geschiktheidsonderzoek	13
3.5.2. Controleproef.....	13
3.5.3. Verwerkingscontrole.....	13
4. Apparatuur	15
4.1 Inleiding.....	15
4.2 Mengers.....	15
4.3 Pompen.....	15
4.4 Leidingen	16
4.5 Compressoren.....	16
4.6 Reservematerieel	16
4.7 Storing , Calamiteiten.....	16
5. Injectie van voorspankanalen.....	19
5.1 Voorbereidingen voor de werkzaamheden op de bouwplaats.....	19
5.1.1 Werkplan	19
5.2 Werkzaamheden op de bouwplaats vooraf aan de daadwerkelijk injectie.....	19
5.2.1 Controle materialen en materieel	19
5.2.2 Preparatie ankerkoppen voor injecteren.....	20
5.2.3 Spoelen van voorspankanalen.....	22
5.2.4 Doorblazen van voorspankanalen	22
5.3 Maatregelen bij lage of hoge temperaturen	22
5.3.1 Maatregelen voor het injecteren in de winter.	22
5.3.2 Maatregelen bij injecteren met lage temperaturen	23
5.3.3 Maatregelen bij injecteren met hoge temperaturen.....	23
5.4 Tijdelijke bescherming van het voorspanstaal tegen corrosie.....	24
5.5 Injecteren van voorspankanalen.....	24

5.5.1 Algemeen	24
5.5.2 Injectie- en ontluhtingspunten.....	25
5.5.3 Symbolen.....	25
5.5.4 Injecteren van spankanalen met strengen met napersen	27
5.5.4.1 Inleiding.....	27
5.5.4.2 Horizontale voorspankanalen	28
5.5.4.3 Lussen en rechte verticale voorspankabels	31
5.5.5 Injecteren van voorspankanalen met strengen of draden zonder napersen	33
5.5.5.1 Inleiding.....	33
5.5.5.2 Na-injecteren.....	34
5.5.5.3 Horizontale voorspankanalen	34
5.5.5.4 Lussen en rechte verticale voorspankabels	37
5.5.6 Injecteren van staven.....	38
5.5.6.1 Injecteren	38
5.5.6.2 Na-injecteren.....	38
6. Controle op vulling van het kanaal	40
6.1 Algemeen	40
6.2 Tijdens het injecteren.....	40
6.3 Na het injecteren	41
7. Afwerken van de ankerkoppen, injectie- en ontluhtingsslangen.....	44
7.1 Algemeen	44
7.2 Het afwerken van de uitwendige ankers, die ingestort worden.....	44
7.3 Het afwerken van uitwendige ankers in een inkassing.....	45
7.4 Het afwerken van injectie- c.q. ontluhtingsslangen.....	46
8. Conclusies en aanbevelingen.....	48
8.1 Conclusies.....	48
8.2 Aanbevelingen	48
Literatuur	50
Bijlage A: BRITE-Euram 1,5 m verticale strengen proef voor waterafschiding en volume verandering	52

Samenvatting

De injectie van voorspankanalen is van groot belang voor de duurzaamheid van voorgespannen betonconstructies. In STUVO-rapport 84 zijn hiertoe in 1988 praktische richtlijnen gegeven. De in dit rapport opgenomen eisen en richtlijnen waren anno 2002 niet meer up to date. Daarom is door Stufib besloten om studiecel 3: "Injecteren van voorspankanalen" te installeren. Deze studiecel had als hoofdtak het opstellen van een Stufib-rapport "Richtlijnen voor het injecteren" dat adequaat op de geldende voorschriften en de huidige inzichten afgestemd is en geschikt is voor algemeen gebruik in de bouwpraktijk. Hiertoe is gebruik gemaakt van een door de Bouwdienst Rijkswaterstaat opgestelde inventarisatie van de huidige in Nederland geldende regelgeving welke is gecombineerd met richtlijnen en regelgeving uit Europa en de Verenigde Staten. Hierbij zijn nog gevoegd de praktijkervaringen van Nederlandse opdrachtgevers, opdrachtnemers en leveranciers; allen vertegenwoordigd in de studiecel.

Voorspankanalen worden in het beton gevormd door achterblijvende metalen of kunststof omhullingbuizen. De eisen waaraan omhullingbuizen moeten voldoen gecombineerd met de verwerkingseisen, zijn uit meerdere normen afkomstig en in dit rapport opgenomen. Op de hoogste punten van voorspankanalen moeten injectie-/ontluchtingsopeningen worden aangebracht die goed moeten kunnen worden afgesloten. Het aantal en de positie van de injectie-/ontluchtingsopeningen is afhankelijk van de vorm en de lengte van het voorspankanaal en dient per werk bepaald te worden. Mogelijke kabelconfiguraties met de bijbehorende achtergronden en aandachtspunten zijn in dit rapport opgenomen voor voorspansystemen met strengen, draden en staven.

De injectiemortel bestaat uit cement type CEM I, water en injectiehulpstof(fen). Het type en dosering van de toe te passen hulpstof bepaalt of er sprake is van een traditionele mortel met in het algemeen een hoge waterafscheiding of een hoogwaardige mortel met een hoge aanvangssterkte en geen of weinig waterafscheiding. Hoe de mengsels onderscheiden worden van elkaar is aangegeven inclusief een nieuwe beproevingsmethode voor het meten van de waterafscheiding. Dit is één van de recent ontwikkelde beproevingsmethoden. Daarvoor de hoogwaardige mortels niet bekend is of lucht- en/of waterinsluitingen kunnen optreden tijdens het injecteren, wordt, indien het mogelijk is, de voorkeur gegeven aan het injecteren met traditionele injectiemortels gecombineerd met napersen. Bij draden en staven en in enkele uitzonderingsgevallen bij strengen is napersen niet mogelijk. In die gevallen dient altijd met hoogwaardige mortels te worden geïnjecteerd.

Voor toepassing dient middels een geschiktheidsonderzoek van een mortel, gecombineerd met de toe te passen apparatuur, aangetoond te worden dat aan alle eisen wordt voldaan. Tijdens de injectiewerkzaamheden dient middels een verwerkingscontrole aangetoond te worden dat de in situ vervaardigde mortel geschikt is voor verwerking. Voor de bij het injecteren benodigde mengers, pompen, leidingen, compressoren en reservematerieel zijn eisen en aandachtspunten opgenomen. Tijdens en na het uitvoeren van de injectie kan men de vulling van de voorspankanalen controleren en maatregelen nemen om eventuele aanwezige holle ruimten op te vullen. Hiervoor zijn meerdere mogelijkheden opgenomen. Om een duurzame voorgespannen constructie te verkrijgen hoort naast een goede injectie ook een goede afwerking van de ankerkoppen, injectie en ontluchtingsslangen. Dit om toetreden van vocht via deze weg te voorkomen. Hoe deze afwerking het beste uitgevoerd kan worden, is aangegeven.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Het rapport geeft een goed beeld van de huidige stand van zaken betreffende het injecteren van spankanalen. Dit voor zowel de ontwikkelingen op materiaal gebied als ook de uitvoeringsmethoden inclusief toe te passen materieel en de geldende normen en regelgeving.
- Internationaal zijn enkele nieuwe beproevingsmethoden ontwikkeld voor de bepaling van de waterafscheiding van injectiemortels. De bijbehorende eisen dienen echter in het algemeen nog bepaald te worden. Het onderscheidend vermogen van de nieuwe beproevingsmethoden is groter dan bij de momenteel voorgeschreven methode.

Als belangrijkste aanbeveling geldt dat men betrokken dient te blijven bij de ontwikkelingen in binnen en buitenland, met name op het gebied van de beproevingsmethoden voor mortel eigenschappen met bijbehorende eisen en onderzoek naar het gedrag van hoogwaardige mortels.

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 6

Geprefabriceerde betonnen stabiliteitsconstructies met open verticale voegen in metselwerkverband

Stufib studiecel 6

juli 2004

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	3
SAMENVATTING	5
LIJST MET SYMBOLEN	11
1 INLEIDING	13
2 BELANGRIJKSTE CONCLUSIES UIT DE LITERATUURSTUDIE	15
2.1 CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN DE GEOMETRIE VAN SCOV'S	15
2.2 CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN HET VERVORMINGSGEDRAG VAN SCOV'S	15
2.3 CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN DE KRACHTSWERKING IN SCOV'S	16
3 BESCHRIJVING VAN HET ONDERZOEK	17
3.1 INLEIDING	17
3.2 PROBLEEMSTELLING	17
3.3 DOEL VAN HET ONDERZOEK	18
3.4 GLOBALE OPZET VAN HET ONDERZOEK	18
3.4.1 Rekenmethode	18
3.4.2 Vergelijking van verschillende typen voegen	19
3.4.3 Effect van voegen op verschillende typen constructies	19
3.4.4 Controle van de resultaten middels een handberekening	20
3.5 HORIZONTALE VOEG	21
3.6 TYPEN VERTICALE VOEGEN	21
3.6.1 Voegtype 1, monoliete voeg (mono)	21
3.6.2 Voegtype 2, gewapende gladde voeg (glad)	22
3.6.3 Voegtype 3, gewapende getande voeg (tand)	22
3.6.4 Voegtype 4, gelaste verbinding met ingestorte staalplaat (plaat)	23
3.6.5 Voegtype 5, gelaste verbinding met ingestort U-profiel (UNP)	24
3.6.6 Voegtype 6, open voeg (open)	24
3.6.7 Alternatief type voeg met ingestorte koker en lasplaten	25
3.7 CONSTRUCTIETYPEN EN DEFINIËRING VAN DE NADER TE BESCHOUWDE SNEDEN	26
3.7.1 Algemeen	26
3.7.2 Constructie A (volledig gesloten wand)	27
3.7.3 Constructie B (wand met één opening per verdieping)	28
3.7.4 Constructie C (gevel met 6 gevelopeningen)	29
3.7.5 Constructie D (gevel met 8 gevelopeningen)	30
4 MODELLERING VAN DE CONSTRUCTIE VOOR BEREKENING MET ATENA	31
4.1 INLEIDING	31
4.2 OVERZICHT VAN DE SCHEMATISERING	31
4.3 TYPE SCHEMATISERING	32

4.4	MATERIAALEIGENSCHAPPEN	33
4.4.1	Materiaaleigenschappen algemeen	33
4.4.2	Waarborging van het lineair-elastisch materiaalgedrag	33
4.4.3	Materiaaleigenschappen voor constructietype B	34
4.5	INVLOED VAN DE VLOER OP HET GEDRAG VAN DE CONSTRUCTIE	34
4.6	HET AANBRENGEN VAN BELASTINGEN	34
4.6.1	Verticale belastingen	34
4.6.2	Horizontale belastingen	35
4.6.3	Belastingcombinaties	36
4.7	RANDVOORWAARDEN TER PLAATSE VAN DE FUNDERING	36
4.8	VORM EN AFMETINGEN VAN DE CONSTRUCTIE	36
5	INVLOED EN SCHEMATISERING VAN DIVERSE VOEGEIGENSCHAPPEN	39
5.1	SCHEMATISERING VAN DE VOEGEN IN ATENA	39
5.1.1	Algemene beschrijving van de manier van schematisering	39
5.1.2	Streven naar een minimale drukspanning in de voegen	39
5.2	ONDERZOEK NAAR DE INVLOED EN SCHEMATISERING VAN VOEGEIGENSCHAPPEN	40
5.2.1	Invloed van de normaalstijfheid van verticale voegen	40
5.2.2	Invloed van de afschuifstijfheid van horizontale voegen	40
5.2.3	Invloed van de normaalstijfheid van horizontale voegen	41
5.3	BEPALING VAN STIJFHEDEN VOOR DE HORIZONTALE VOEGEN	41
5.3.1	Monoliete constructies	41
5.3.2	Geprefabriceerde constructies	42
5.4	BEPALING VAN STIJFHEDEN VOOR DE VERTICALE VOEGEN	44
5.4.1	Monoliete constructies	44
5.4.2	Geprefabriceerde constructies met verticaal verspringende open voegen	44
5.4.3	Geprefabriceerde constructies met traditionele elementstapeling	44
5.4.4	Afwijkende stijfheden voor de voeg boven de openingen in constructie B	46
6	RESULTATEN VAN DE EEM-BEREKENINGEN MET ATENA	47
6.1	INLEIDING	47
6.2	VERVORMING VAN DE CONSTRUCTIES	47
6.2.1	Constructietype A	47
6.2.2	Constructietype B	48
6.2.3	Constructietype C	48
6.2.4	Constructietype D	49
6.2.5	Effect van de voegstijfheid op vervormingen	51
6.2.6	Bespreking van de resultaten	51
6.2.7	Verklaring van de belangrijkste bevindingen	52
6.3	SPANNINGEN, MOMENTEN EN KRACHTEN IN DE CONSTRUCTIES	53
6.3.1	Constructietype A	53
6.3.2	Constructietype B	57
6.3.3	Constructietype C	61
6.3.4	Constructietype D	65
7	CONCLUSIES	71
7.1	CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN DE OPEN VOEGEN IN METSELWERKVERBAND	71
7.1.1	Effect op de vervormingen	71
7.1.2	Effecten ten aanzien van de interne krachtsverdeling	71

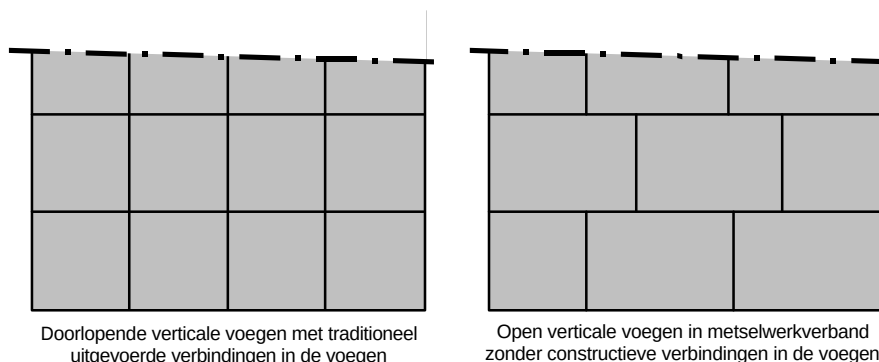
7.2	CONCLUSIES TEN AANZIEN VAN DE TRADITIONELE VOEGTYPEN	72
7.2.1	Effect op de vervormingen	72
7.2.2	Effecten ten aanzien van de interne krachtsverdeling	72
7.3	ALGEMENE CONCLUSIES	73
8	AANBEVELINGEN	75
8.1	ECONOMISCHE VOORDELEN VAN HET BOUWEN MET OPEN VERTICALE VOEGEN	75
8.2	HET EFFECT VAN DE DEUVELWERKING VAN VLOEREN EN TREKBAND	76
8.3	BETER INZICHT IN HET GEDRAG VAN LASVERBINDING MET INGESTORTE STAALPLAAT	76
	LIJST MET FIGUREN	77
	LIJST MET TABELLEN	78
	LIJST MET GRAFIEKEN	79
	LITERATUURLIJST	81

Samenvatting

Als stabiliteitselementen voor (hoogbouw)constructies worden veelvuldig geprefabriceerde dragende wanden en gevels toegepast. Zoals in alle constructietypen is men ook bij dit type (stabiliteits)constructies altijd op zoek naar optimalisering van het ontwerp- en uitvoeringsproces. Een recente ontwikkeling hierin is het toepassen van open verticale voegen tussen de wand- of gevelelementen, waarbij deze elementen in een metselwerkverband worden aangebracht. Er worden geen constructieve voorzieningen in de open verticale voegen aangebracht. In tegenstelling tot traditionele voegtypen, waarbij voegverbindingen gerealiseerd moeten worden om constructieve samenwerking van de elementen te waarborgen, zijn aan open verticale voegen, na plaatsing van de elementen, geen werkzaamheden meer nodig. Dit is een groot voordeel van het toepassen van open verticale voegen in metselwerkverband omdat het realiseren van voegen doorgaans veel tijd kost en duur is.

Tegemoetkomend aan de doelstelling van de studiecél is onderzocht wat het effect is van open verticale voegen in metselwerkverband op het gedrag van geprefabriceerde betonnen stabiliteitsconstructies. Hierbij is een viertal constructietypen beschouwd. Het onderzoek spitst zich toe op vlakke stabiliteitsconstructies met een slankheid van 6:1 ($b = 14,4$ m en $h = 86,4$ m). Hiermee mogen de constructies tot de hoogbouwconstructies worden gerekend. De vier beschouwde constructietypen variëren van een volledig gesloten stabiliteitswand tot een dragende gevel met gevelopeningen. Zo is met een aantal veelgebruikte constructietypen ook een brede range aan (constructie)stijfheden beschouwd.

Het gedrag van de constructies met open verticale voegen is vergeleken met dat van constructies met traditioneel uitgevoerde verticale voegen, waarbij de verticale voegen in dat geval doorlopend zijn uitgevoerd. Van deze traditionele voegtypen zijn de gladde gewapende voeg, de getande gewapende voeg en twee voegtypen waarin gelaste verbindingen worden toegepast in het onderzoek opgenomen. Eveneens is van alle constructies een monoliete variant beschouwd.



Met *open verticale voegen* wordt in dit onderzoek een voegtype bedoeld waarbij geen constructieve voorzieningen in de verticale voegen tussen de geprefabriceerde elementen zijn aangebracht. Via de open verticale voegen worden dus ook geen krachten tussen de elementen overgedragen. Dit in tegenstelling tot wat gebruikelijk is voor *doorlopende verticale voegen* in stabiliteitsconstructies. Deze worden doorgaans wel voorzien van verbindingen om zo verticale schuifkrachten tussen de elementen over te kunnen dragen. Om ook in het geval van een constructie met open verticale voegen verticale schuifkrachten tussen de elementen over te kunnen dragen, worden de elementen bij dit voegtype altijd in een metselwerkverband gestapeld.

Voor de berekeningen van de constructies is een Eindige Elementen Methode-programma (EEM-programma) gebruikt, waarin de stabiliteitsconstructies als schijven werden berekend. Om het gedrag van de constructies te kunnen bepalen zijn alle constructies (in totaal 24) in de Bruikbaarheid Grens-Toestand (BGT) berekend, omdat voor hoogbouw de vervormingen van de constructie doorgaans maatgevend zijn. Naast de horizontale vervormingen zijn in alle constructies ook maatgevende spanningen berekend. Voor de twee stabiliserende gevelconstructies die in het onderzoek zijn opgenomen, zijn daarnaast ook momenten en krachten in de penanten van de onderste bouwlaag bepaald en vergeleken. Van twee typen constructies, de volledig gesloten wand en de stabiliserende gevel met gevelopeningen, is als referentie een analytische (hand)berekening van de monoliete variant uitgevoerd.

Uit het onderzoek blijkt dat het prefabriceren van de constructie en het daarmee aanbrengen van voegen tussen de geprefabriceerde elementen, altijd effect heeft op de vervormingen van en krachtswerking in de constructie. De afschuifstijfheid van de verticale voegen blijkt in belangrijke mate bepalend te zijn voor de mate waarin de *vervormingen* van de constructie toenemen wanneer deze geprefabriceerd wordt. Hoe lager deze afschuifstijfheid is, des te groter zullen de verschillen zijn tussen de geprefabriceerde constructie met voegen en de monoliet uitgevoerde constructie. Voor het minst stijve voegtype, de enkele ingestorte staalplaat (type 4), nemen de horizontale verplaatsingen tot maximaal 22 % toe ten opzichte van de monoliet uitgevoerde variant (voor een volledige gesloten wand). Hiermee blijkt ook dat ondanks het feit dat relatief slappe verticale voegen worden toegepast, de extra vervormingen als gevolg hiervan relatief beperkt zijn.

Ook de invloed van verticale voegen in stabiliteitsconstructies op de *krachtwerking* blijkt afhankelijk van de afschuifstijfheid van de verticale voegen. Is de afschuifstijfheid laag dan kan dit een aanzienlijke toename van momenten en dwarskrachten in de constructie tot gevolg hebben. Deze toename loopt op tot 50% ten opzichte van de monoliet uitgevoerde variant. In constructies met weinig tot geen openingen kan het toepassen van verticale voegen met een lage afschuifstijfheid leiden tot een lokale spanningsverhoging in de constructie van 45 %. Hiermee is duidelijk geworden dat zowel ten aanzien van het bepalen van de vervormingen van de constructie als de krachtswerking in de constructie, rekening gehouden dient te worden met de invloed van de afschuifstijfheden van de (verticale) voegen.

Vanuit een constructief oogpunt kan het toepassen van open verticale voegen in metselwerkverband een goed alternatief zijn voor traditionele voegtypen in doorgaande verticale voegen. Met het toepassen van open verticale voegen kan een overall stijfheid van de constructie worden bereikt die gelijk is aan de stijfheid van een constructie waarin het meest stijve traditionele verticale voegtype wordt toegepast. De vervormingen van de constructie nemen in beide gevallen 6 tot 8 % toe ten opzichte van de monoliete variant. Dit blijkt vrijwel onafhankelijk van het type constructie.

Ook is gebleken dat ten aanzien van het bepalen van de vervormingen van constructies met open voegen een ontwerpmethode voor monoliete constructies kan volstaan. Ter berekening van de optredende spanningen en snedekrachten dient echter een aanvullende methode gevonden te worden. De spanningen en snedekrachten wijken voor constructies met open verticale voegen in metselwerkverband namelijk tot 45 % (groter!) af van wat op basis van een berekening van een monoliete constructie verwacht mag worden.

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 7

Monitoren van Betonconstructies

Stufib studiecel 154

2003

stufib rapport monitoren van betonconstructies

Inhoudsopgave

1	Inleiding tot het monitoren van betonconstructies	4
1.1	Het begrip monitoren	4
1.2	Inspectie- en monitorstrategie	5
1.2.1	Algemeen	5
1.2.2	Begrippen	5
1.2.3	Impulsen om te monitoren	6
1.2.4	Doelstelling monitorproject	7
1.2.5	Fasering monitorproject	8
1.3	Informativiteit van monitoren	12
1.4	Kosteneffectiviteit van een rationeel monitorproject.....	12
1.5	Referenties.....	13
2	On line vervormingsmonitoring van gebouwen in Amsterdam.....	14
-	Het ademen van constructies onder seizoensinvloeden-	14
2.1	Aanbesteding Monitoring.....	14
2.1.1	Invloedszone	15
2.2	Stabiele Referentiepunten.....	15
2.3	On line monitoringsysteem voor gebouwen.....	15
2.4	Datamanagement met het GIS-systeem.....	17
2.5	Resultaten basis monitoring periode.....	17
2.6	Conclusies.....	21
2.7	Referenties.....	21
3	Monitoren van de Tweede Stichtse Brug.....	22
3.1	Inleiding.....	22
3.2	Bepaling betondruksterkte m.b.v. meten van terugslagwaarden.....	23
3.3	Krimpmetingen in de Tweede Stichtse Brug	26
3.4	Vervormingen Tweede Stichtse Brug.....	28
3.5	Deformatiemetingen Tweede Stichtse Brug.....	30
3.6	Metingen van de temperatuur en relatieve vochtigheid.....	30
3.7	Literatuur	34
4	Monitoren AlkaliSilicaReactie in viaducten	35
4.1	Inleiding.....	35
4.2	Ontwerp van het monitorsysteem	36
4.3	Meetplaatsen en meetfrequentie.....	36
4.4	Meetapparatuur en plaatsing	36
4.5	Resultaten van de uitgevoerde metingen	38
4.6	Conclusies over het gedrag van de rijdekken.....	40
4.7	Conclusies over de meettechnieken	40
4.8	Vervolgonderzoek.....	41
5	Monitoren van wapeningscorrosie.....	48
5.1	Inleiding.....	48
5.2	Corrosie van betonstaal.....	48
5.3	Typen sensoren voor monitoren van corrosie van wapening.....	51
5.4	Voorbeelden	56
5.5	Referenties.....	59
6	Conclusies	61

Woord vooraf

Dit *stufib* rapport beschrijft de stand van zaken op het gebied van monitoren van betonconstructies op grond van informatie aanwezig bij de leden van studiecél 154 “monitoring van betonconstructies”.

Het rapport geeft een overzicht van verschillende vormen van monitoren, die alle ook een verschillende achtergrond hebben. Het rapport beoogt daarmee een overzicht te geven van de diverse mogelijkheden om te monitoren met hedendaagse technieken. De verschillende achtergronden en impulsen om te gaan monitoren worden in hoofdstuk 1 in een kader geplaatst, waarna in de hoofdstukken 2 t/m 5 een aantal voorbeelden, alsmede diverse meetresultaten, worden geprojecteerd op de kaders van hoofdstuk 1. In hoofdstuk 6 worden enige conclusies weergegeven.

De studiecél is begonnen in 1998, terwijl de afronding in 2003 plaatsvond. De studiecél bestaat uit de volgende leden:

Ir. Frank Kaalberg (voorzitter), Witteveen + Bos;
prof.dr.ir Joost Walraven (mentor), TUDelft;
Dipl.-Ing Holger Netzel (secretaris), voorheen Witteveen + Bos;
dr. ir. Cor van der Veen, TUDelft;
dr. ir. Joost Gulikers, Bouwdienst Rijkswaterstaat;
ing. Jan Leggedoor, Leggedoor Beton en Vochtwering;
dr. ir. Rob Polder, TNO Bouw.

In de beginfase maakten ook ir. Alexander Milenkovic, voorheen Spanbeton, en dr.ir. Wim Jansze, voorheen Van Hattum & Blankevoort, deel uit van de studiecél.

In de eindfase hebben dr.ir Marcel van Vliet en dr. ir. Agnieszka Bigaj, beiden van TNO Bouw, bijgedragen, met name aan het eerste hoofdstuk.

Verder is een hoofdstuk toegevoegd op basis van een artikel van ir. Huibert Borsje en dr. ir. Willy Peelen (TNO Bouw) en ir. Frits Postema en ir. Jaap Bakker (Bouwdienst Rijkswaterstaat).

Omwille van de overzichtelijkheid zijn alle referenties per hoofdstuk aangeduid.

6 Conclusies

Aan de hand van een viertal voorbeeldprojecten is getoond dat monitoren van (beton) constructies, gevoed vanuit verschillende overwegingen (“impulsen”), die systematisch worden uiteengezet in hoofdstuk 1, een belangrijke schakel vormt in de gehele levensduur keten (life cycle) van constructies. Iedere impuls vraagt om een projectspecifieke benadering van het monitorvraagstuk. Uiteindelijk hebben alle monitorprojecten echter wel met elkaar gemeen dat ze proberen in beeld te brengen hoe de (beton)constructie zich gedraagt onder invloed van verschillende exogene factoren.

Deze exogene factoren kunnen een dermate groot risico vormen voor het behoud van constructies, dat investeringen in een monitorprogramma dat bouwprocessen op een verantwoorde wijze laat beheersen, zich terug vertalen in een geringer risicoprofiel voor het gehele civieltechnische project (hoofdstuk 2) en daarmee een grotere maatschappelijke acceptatie voor de realisatie ervan.

Soms hebben de doelstellingen van een monitorproject primair betrekking op een wetenschappelijke benadering van nog onbekende (fysische) fenomenen, teneinde voor nog te bouwen nieuwe constructies, aan de hand van die verworven inzichten, besparingen en/of optimalisaties te genereren (hoofdstuk 3). Hier worden de kosten van monitoren pas later terugverdiend door een geoptimaliseerd ontwerp voor een volgend project. Een dergelijke projectgrens overschrijdende terugverdienmogelijkheid vereist een opdrachtgever die meerdere constructies in zijn beheersportefeuille heeft en van daaruit een integrale visie op ontwikkelingen stimuleert, danwel een (academisch) onderzoeksklimaat dat dergelijke ontwikkelingen ondersteunt.

Als gevolg van de stijgende gebruiksintensiteit en de toenemende ouderdom van civieltechnische constructies neemt het belang van beheer en onderhoud van bouwwerken toe. Inspectie en monitoren kunnen dan een effectieve rol spelen bij het bewaken van het naar behoren functioneren van deze constructies (hoofdstuk 4 en 5). Kosteneffectief gebruik van inspectie- en monitortechnieken is daarbij van grote betekenis voor kostenbeheer van bestaande en nieuwe constructies. Deze vorm van monitoren biedt tevens de mogelijkheid de levensduur van bestaande constructies op een verantwoorde manier te verlengen en vervangingsinvesteringen voor constructies uit te stellen.

Stufib-rapport 8

Constructieve samenhang van bouwconstructies

Stufib studiecel 2

Ing. R. Sagel
Ing. S.J. de Boer
Ing. G.P. Bruin
Ir. R.N.J. Huyben
Ir. A.M. de Roo
Ir. J.A.A.M. Vollebregt
Prof. Ir. A.C.W.M. Vrouwenvelder
Ir. S.N.M. Wijte
Ing. J.P. van der Windt
Prof. Dipl. -Ing. J.N.J.A. Vambersky

Bouwtoezicht Gemeente Rotterdam (voorzitter)
InfraConsult + Engineering (secretaris)
Beton Son B.V.
Delphi Engineering B.V.
Arcadis Bouw en Vastgoed B.V.
BAM
TNO Bouw / TU Delft Fac. CITG
Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V. (rapporteur)
Ingenieursbureau Zonneveld B.V.
Corsmit Raadgevend Ingenieursbureau B.V.
TU Delft Fac. CITG

september 2006

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Samenvatting huidige regelgeving	3
2.1	Inleiding	3
2.2	NEN 6700 - TGB 1990 – Algemene basiseisen (1997)	3
2.3	NEN 6702 – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen	3
2.4	NEN 6720 – TGB 1990 – Voorschriften Beton Constructieve eisen en rekenmethoden	4
2.5	Bouwbesluit	4
2.6	Aangepaste versie van NEN 6700	4
2.7	Samenvatting	5
3	Discussie over de interpretatie van de normen	6
4	Europese regelgeving	7
4.1	prEN 1991-1-7	7
4.2	prEN 1991-1-7 Annex A	8
4.3	Beschrijving van een risico-analyse	13
5	Discussie over de EN 1991-1-7	16
5.1	Achtergrond krachten in de trekbanden bij constructie met kolommen	16
5.2	Aanvullende aanbevelingen voor een constructie met kolommen	17
5.3	Achtergrond krachten in de trekbanden bij constructie met dragende wanden	18
6	Samenwerking van constructiebureaus en de rol van de hoofdconstructeur	19
6.1	Inleiding	19
6.2	Organisatie van werkzaamheden	19
6.3	Beschouwing constructieve samenhang en vastleggen van taakverdeling	20
6.4	Taakverdeling tijdens realisatiefase meer in detail	20
6.5	Verantwoordelijkheden, communicatie en toetsing	21
7	Uitwerking in een case	23

Bijlagen

Bijlage A - Annex A van prEN1991-1-7

Bijlage B - Kwaliteit engineering prefab betonelementen geregeld

Bijlage C - Mogelijke Taakverdeling bij semi-prefabconstructies

Bijlage D - Mogelijke Taakverdeling bij volledige prefabconstructies

Samenvatting en aanbevelingen

De samenhang in een constructie is van belang om het incasseringsvermogen van de constructie, dat noodzakelijk is om de gevolgen van uitzonderlijke gebeurtenissen, te beperken. Uitzonderlijke gebeurtenissen zijn bijvoorbeeld bijzondere belastingen zoals gasexplosies en aanrijdingen maar ook het onverwacht bezwijken van belangrijke onderdelen van een hoofddraagconstructie. De gevolgen van bijvoorbeeld gasexplosies en aanrijdingen zijn beschreven in NEN 6702. De mate waarin rekening moet worden gehouden met het onverwacht bezwijken van een onderdeel van de hoofddraagconstructie is mede afhankelijk van de gevolgen hiervan. Om hierbij onderscheid te maken, kunnen constructies en gebouwen worden verdeeld in zogenaamde gevolklassen.

De constructieve samenhang wordt in grote mate bepaald door twee aspecten:

- het constructieve incasseringsvermogen van de constructie;
- de effectiviteit van de samenwerking tussen de verschillende betrokken constructeurs.

Het constructieve incasseringsvermogen van een tekenconstructie kan op verschillende wijzen worden verbeterd. De meest eenvoudige is het aanbrengen van een voorgeschreven hoeveelheid wapening ten behoeve van de samenhang. Bij een meer uitgebreide benadering kan gezorgd worden voor een alternatieve krachtsafdracht en/of het uitvoeren van een risico-analyse.

Een goede samenwerking tussen de verschillende bij het bouwwerk betrokken constructeurs is ook van groot belang voor de samenhang in een constructie. Hierbij spelen vooral de communicatie over de krachten op en in de toe te passen constructieve elementen en de koppeling tussen de constructieve bouwelementen ten behoeve van de constructieve samenhang van de constructie, een grote rol.

Annex A van EN 1991-1-7 geeft een goede aanwijzing hoe omgegaan kan worden met het onverwacht bezwijken van onderdelen van de hoofddraagconstructie. Echter de inhoud van de Annex behoeft nog enige aanpassing en toelichting ten aanzien van bijvoorbeeld de aansluiting met soortelijke normatieve documenten zoals EN 1992-1-1 en de VBC (NEN 6720). Ook moet de theoretische achtergrond van enkele detailleringsregels nader worden getoetst.

Studievereniging *fib*-Nederland

Stufib

Stufib-rapport 9

Versterken van bestaande bruggen middels uitwendige voorspanning

Stufib studiecel 7

oktober 2006

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Algemeen	1
1.2	Toepassingsmogelijkheden	2
2	Systemen voor uitwendige voorspanning	5
2.1	Voorspanstaal	5
2.2	Ankertypen	5
2.3	Omhulling	5
2.4	Deviatoren	6
3	Systemen van conserveringen	8
3.1	Blankstaal met groutinjectie op bouwplaats	8
3.2	Tijdelijke conserveringen	8
3.3	Verzinkt staal zonder omhulling	8
3.4	Zink + aluminium	9
3.5	Zink (+ev. Al) + was / vet + HDPE	9
3.6	Was / vet + HDPE	9
3.7	Gebundelde Monostrands	9
3.8	Epoxy coating	9
3.9	Teer-epoxy-harsen en verven	10
4	Aandachtspunten uitvoering	11
4.1	Maatregelen i.v.m. verkeer	11
4.2	Toegankelijkheid van de te versterken constructie	11
4.2.1	Kokerliggerbrug	11
4.2.2	Vlakke bruggen	11
4.3	Aan te voeren materiaal en materieel	12
4.3.1	Spanblokken en deviatoren	12
4.3.2	Beton	12
4.3.3	Voorspankabels	12
4.3.4	Spannen van de kabels	13
4.3.5	Injecteren van kabelkanalen	13
5	Aanbevelingen m.b.t. keuze van het systeem	14
6	Aanbevelingen m.b.t. te hanteren normteksten	15
6.1	Ontwerp, dimensionering en toetsing	15
6.1.1	Belastingen en belastingcombinaties	15
6.1.2	Ontwerp kabelverloop	15
6.1.3	Voorspanverliezen, kabelwrijving en wrijvingsparameters	16
6.1.4	Omhullingbuizen	17
6.1.5	Ontwerp ankers en deviatoren	18
6.1.6	Toetsing en controles	18
6.2	Inspecteerbaarheid en onderhoud	19
6.2.1	Kabeluitval in geval van vervanging	19
6.2.2	Inspecteerbaarheid	19
6.2.3	Duurzaamheid	19
6.3	Bijzondere situaties, calamiteiten	20
6.3.1	Brandveiligheid	20
6.3.2	Vandalisme bestendigheid	20
6.3.3	Terrorisme bestendigheid	20

Literatuur.....	21
Bijlage A: Projecten	25
A1 <i>Project: Brug bij het Gemaal Hardinxveld-Giessendam</i>	26
A2 <i>Project: Plakbrug over het Ketelmeer.....</i>	28
A3 <i>Project: Viaducten A10 Amsterdam.....</i>	30
A4 <i>Project: Viaduct Cadettenkamp in A27 bij Breda, uit ca.1970</i>	31
A5 <i>Project: Brug over de Maas bij Elsloo.....</i>	33
A6 <i>Project: Spoorbrug bij Boxtel, uit 1997</i>	35
A7 <i>Project: Brug over de IJssel bij Deventer</i>	37
A8 <i>Project: Muiderbrug</i>	39
A9 <i>Project: HSL afzinktunnels onder de Oude Maas en de Dordtsche Kil.....</i>	41
A10 <i>Project: Mainbrücke Sommerhausen-Winterhausen bij Würzburg, BRD, uit 1972.....</i>	42
A11 <i>Project: Werrabrücke bij Barchveld, BRD, uit 1962.....</i>	44
A12 <i>Project: Kremsbrücke bij Senftenberg, Oostenrijk, uit 1970.....</i>	45
Bijlage B: Bundeling van relevante normen en richtlijnen.....	47
B1. Toelichting.....	47
B2. Ontwerp, dimensionering en toetsing.....	47
B.2.1. <i>Belastingen en belastingcombinaties.....</i>	47
B.2.2. <i>Ontwerp kabelverloop</i>	48
B.2.3. <i>Voorspanverliezen, kabelwrijving en wrijvingsparameters</i>	50
B.2.4. <i>Omhuilingbuizen</i>	52
B.2.5. <i>Ontwerp ankers en deviatoren.</i>	53
B.2.6. <i>Toetsing en controles.....</i>	57
B3. Inspecteerbaarheid en onderhoud	60
B.3.1. <i>Kabel uitval in geval van vervanging</i>	60
B.3.2. <i>Inspecteerbaarheid</i>	61
B.3.3. <i>Vervangbaarheid.....</i>	61
B.3.4. <i>Duurzaamheid.....</i>	62
B4. Bijzondere situaties / calamiteiten	65
B.4.1. <i>Brandveiligheid</i>	65
B.4.2. <i>Vandalisme bestendigheid.....</i>	65
B.4.3. <i>Terrorisme bestendigheid</i>	66

Samenvatting

In dit rapport wordt ten eerste aandacht besteed aan een inventarisatie, waarbij vele voorbeelden de revue passeren; concrete projectinformatie is opgenomen in Bijlage A.

Vervolgens worden de voorspansystemen en de wijze van aanbrengen behandeld.

In hoofdstuk 2 is naar de verschillende onderdelen van de externe voorspanning gekeken. In hoofdstuk 3 zijn de conserveringsmethoden op een rijtje gezet, waarna in hoofdstuk 4 een aantal uitvoeringsaspecten is beschouwd. Naast de bereikbaarheid van de bestaande constructie is hierbij aandacht gegeven aan het samenstellen van de kabels, het aanbrengen van de onderdelen, het spannen en het afwerken van de voorspanelementen.

Dit onderdeel wordt afgesloten met aanbevelingen in hoofdstuk 5.

Een grote plaats in dit rapport is ingeruimd voor de beschouwing van de richtlijnen en voorschriften in binnen- en buitenland. In hoofdstuk 6 worden aanbevelingen gedaan welke delen normtekst toepasbaar zijn voor de Nederlandse praktijk en is aangegeven waar nader onderzoek nodig is. Een inventarisatie van relevante teksten van richtlijnen en normen uit binnen- en buitenlands is opgenomen in Bijlage B.

Stufib-rapport 10

Voegenbeton in winterse omstandigheden

Stufib studiecel 5

Ir. A. van Paassen (voorzitter)
Ch. Verwijmeren (secretaris)
Ing. Reint Sagel
H. Dikmans-Duenk
Ad Verhagen

Ing. Siebe de Boer (mentor Stufib)

VBI Ontwikkeling B.V.
Maxit Nederland B.V.
Bouwtoezicht Gemeente Rotterdam
Cugla B.V.
Koninklijke Militaire Academie
(tot 2005)
InfraConsult + Engineering

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Huidige praktijk	4
2.1	Literatuur	4
2.2	Gangbare praktijk	4
2.3	Voegen	5
3	Bestaande regelgeving en richtlijnen	6
3.1	NEN 6720, DE VBC	6
3.2	NEN 6722, DE VBU	6
3.3	Soorten voegenbeton	6
3.3.1	Voegenbeton conform NEN-EN 206 / NEN 8005	6
3.3.2	Voegenbeton conform CUR Aanbeveling 24.....	7
3.4	Regelingen rondom het vorstverlet	7
3.5	Gevoelstemperatuur.....	7
3.6	Windchill tabel	8
3.7	CAO-tekst (art. 32, lid 1b).....	9
4	Voegenbeton	10
4.1	Keuze materialen en samenstelling	10
4.2	Programma van eisen van Wintermortels.....	10
4.3	Geschiktheidsproef.....	11
4.4	Resultaten van een geschiktheidsproef.....	11
5	Uitvoeringsvormen en applicatie	14
5.1	Applicatie	14
5.2	overzicht weefasen en maatregelen.....	14
5.3	Uitvoeringsvorm. hoe komt het aan? Hoe wordt het verwerkt?	16
5.3.1	Natte procedure; Betonspecie.....	16
5.3.2	Droge procedure; Silosysteem met droge mortel	16
5.3.3	Droge procedure; Zakgoed	17
5.4	Certificering.....	17
6	Conclusie	18
BIJLAGE 1	Gebruikte termen	19
BIJLAGE 2	Komo attest met produktcertificaat	21
BIJLAGE 3	Productblad Cuglaton liquick	23

Samenvatting

Beschreven zijn de randvoorwaarden beschrijven om in Nederland (verpompbare) voegenbeton toe te passen bij temperaturen tot -5°C . Bestaande regelgeving is vermeld, evenals buitenlandse ervaringen met voegenbeton bij lage temperaturen. Aangegeven is aan welke eisen de mortel moet voldoen en welke geschiktheidsproeven daarvoor gebruikt moeten worden, hoe de mortel verwerkt en mogelijk nabehandeld moet worden op de bouwplaats.

De voegmortel van een fabrikant is getoetst met de geschiktheidsproef. Voor andere praktijkmengsels wordt aanbevolen deze toetsing ook uit te voeren. Voor de uitvoerende bouw is vermeld welke preventieve maatregelen nodig zijn en welke testen registraties kunnen plaatsvinden.



Stufib-rapport 11

Beheerste scheurvorming van voegloze elastisch ondersteunde betonvloeren

aandachtspunten voor ontwerp en aanleg

Stufib \ Stutech studiecél 9

Inhoud

Woord vooraf	3
Samenvatting	4
Inleiding	8
1 Scheurvorming in betonvloeren	9
1.1 Oorzaken van scheurvorming	9
1.2 Verhinderde vervormingen	9
1.2.1 Temperatuurveranderingen	
1.2.2 Uitzuiging	
1.2.2.1 Krimp	
1.2.2.2 Kruip	
1.2.2.3 Relaxatie	
1.3 Ongelijkmatige zettingen	21
1.4 Uitwendige belastingen	21
1.5 Classificatie van scheurvorming	21
1.5.1 Toelichting bij klasse-indeling scheurwijdte bedrijfsvloeren	
1.5.2 Toelichting bij controle scheurwijdte en interpretatie meetgegevens	
1.6 Beheersing van scheurvorming	23
1.7 Aandachtspunten voor de praktijk	24
1.8 Aandachtspunten voor nader onderzoek	24
1.9 Geraadpleegde literatuur	25
2 Constructieve aspecten	27
2.1 Algemeen	27
2.2 Ontwerpfilosofie voegloze elastisch ondersteunde betonvloeren	27
2.3 Belastingen	29
2.3.1 Scheurwijdte afhankelijk van belastinghistorie	
2.3.2 Scheurwijdte afhankelijk van ouderdom vloer	
2.4 Berekening van de scheurwijdte	30
2.4.1 Scheurwijdte toets voor duurzaamheid wapening	
2.4.2 Minimum wapening bij beton onder trek	
2.5 Rekenmethoden voor voegloze elastisch ondersteunde platen van gewapend beton	37
2.5.1 Ontwerpfilosofie VENCON 2.0	
2.5.1.1 Krachtsverdeling onder invloed van de opgelegde vervormingen	
2.5.1.2 Evaluatie	
2.5.1.3 VENCON 2.0	
2.5.2 Ontwerpfilosofie ABT verenmodel Vloerstaal 1.0	
2.5.2.1 Verdeling spanning over de vloer	
2.5.2.2 Spanningsverdeling ten gevolge van scheuren	
2.5.3 Ontwerp met behulp van de eindige elementen methode	
2.5.3.1 DIANA	
2.5.3.2 FLORA	
2.6 De vloeistofdichte betonvloer	50
2.6.1 Scheurmoment betondoorsnede	

2.7	Staalvezelbeton	52
2.7.1	Scheurbeheersing met staalvezels	
2.7.2	Bezwijkmechanismen staalvezelbeton	
2.7.3	Treksterkte van staalvezelbeton	
2.7.3.1	Treksterkte op basis van CUR-Aanbeveling 35	
2.7.3.2	Treksterkte op basis van NEN-EN 14651	
2.7.4	CUR-Aanbeveling 104: constructief staalvezelbeton	
2.7.4.1	Bepaling van de residuele buigtreksterkten middels de buigproef	
2.7.5	De wigsplijtproof (Tschegg & Linsbauer)	
2.7.6	Minimum vezelgehalte staalvezelbeton	
2.7.7	Scheurbeheersing met vezels	
2.8	Aandachtspunten voor de praktijk	64
2.9	Aandachtspunten voor nader onderzoek	64
2.10	Geraadpleegde literatuur	66
3.	Technologische aspecten	69
3.1	Inleiding	69
3.2	De waarde van Rekenwaarden	70
3.3	Van betonspecie tot verhard beton: de ontwikkeling van eigenschappen in de tijd	71
3.3.1	Betonspecie: de eerste uren na verwerking	
3.3.2	Jong beton: de eerste dagen	
3.3.3	Verhard beton	
3.4	Materiaaleigenschappen	72
3.4.1	Mechanische eigenschappen	
3.4.2	Thermische eigenschappen	
3.4.3	Hygrische eigenschappen	
3.5	Staalvezelversterkt beton	79
3.6	Aandachtspunten voor de praktijk	80
3.7	Aandachtspunten voor nader onderzoek	83
3.8	Geraadpleegde literatuur	83
4.	Uitvoerings aspecten	85
4.1	Vorbereiding	85
4.1.1	Ondergrond	
4.1.2	Grondaanvullingen en fundering	
4.1.3	Isolatie onder de vloer	
4.1.4	Werkvloer	
4.1.5	Wapening	
4.1.5.1	Wapeningsnetten, afstandhouders	
4.1.6	Staalvezelbeton	
4.2	Uitvoeringsaspecten	89
4.2.1	Eisen voortvloeiend uit de wijze van uitvoering en omstandigheden	
4.2.2	Storten en verdichten betonspecie	
4.2.3	Afwerking op hoogte/vlakheid	
4.2.4	Afwerking van de toplaag	
4.2.5	Bepaling van het moment van afwerking van het oppervlak	
4.2.6	Humm-sonde	
4.2.7	Klimatologische omstandigheden	

4.3	Nabehandeling, bescherming en ingebruikname	91
4.3.1	Nabehandeling	
4.3.2	Bescherming van het betonoppervlak	
4.3.3	Ingebruikname	
4.4	Aandachtspunten voor de praktijk	93
4.5	Aandachtspunten voor nader onderzoek	94
4.6	Geraadpleegde literatuur	95
5.	Conclusies en aanbevelingen	97
Bijlagen		100
1.	Scheurtypologie	101
2.	Classificatie van intrinsieke scheuren	102
3.	Beddinggetal van isolatiemateriaal	103
4.	Rekenvoorbeeld vloeistofdichte voegloze betonvloer	105
5.	Ringtest AASHTO PP34-99	107
6.	Voorbeeldberekening DIANA	108
7.	Voorbeeldberekening FLORA	116
8.	Checklist voor monolietvloeren	123
Nuttige adressen		126

Samenvatting

Hoofdstuk 1 Scheurvorming in betonvloeren

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de op een betonvloer optredende belastingen, die tot scheurvorming aanleiding geven. Vervolgens wordt nader ingegaan op de belastingen veroorzaakt door opgelegde verhinderde vervormingen. Deze worden veroorzaakt door temperatuurveranderingen (afkoeling, opwarming) als gevolg van hydratatie en klimaat, krimp van beton en ongelijkmatige zetting van de ondergrond of plaatselijke samendrukking van isolatiemateriaal. Ten slotte worden aanbevelingen geformuleerd met betrekking tot classificatie van te accepteren scheurwijdtes en voorstellen voor nader onderzoek naar de krimp van beton.

Hoofdstuk 2 Constructieve aspecten

In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op de theorie van het ‘TU-Delft trekstaafmodel’. Vervolgens wordt nader ingegaan op de minimaal benodigde wapening bij beton onder trek en de nieuwe rekenmethode voor beheerste scheurvorming in voegloze betonvloeren van gewapend beton. Tot slot wordt nader ingegaan op de sterkte eigenschappen van staalvezelbeton.

Hoofdstuk 3 Technologische aspecten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de betontechnologische aspecten die van belang zijn bij de beheersing van scheurvorming in elastisch ondersteunde vloeren. We zien dat in de periode na het storten van een vloer heel verschillende mechanismen de oorzaak kunnen zijn van scheurvorming. In globale termen: plastische krimp, uitdrogingskrimp en vervormingen als gevolg van hydratatiewarmte en variaties in de omgevingstemperatuur. Om hiermee adequaat om te gaan zullen ontwerper en betontechnoloog hun eisen en mogelijkheden zo goed mogelijk op elkaar dienen af te stemmen. De ontwerper dient de gewenste eigenschappen zo gedetailleerd mogelijk te formuleren. De betontechnoloog dient eigenschappen als druksterkte, treksterkte en vervormingsgedrag en warmteontwikkeling zo goed mogelijk af te stemmen op de prestatie-eisen vanuit de toepassing.

Hoofdstuk 4 Uitvoerings aspecten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de uitvoeringsaspecten van elastisch ondersteunde vloeren in gewapend beton en staalvezelbeton. Speciaal punt van aandacht is de voorbereiding. Hierbij wordt nader ingegaan op de ondergrond, grondaanvulling en fundering, toepassing van isolatiemateriaal, het maken van de werkvloer en het wapenen. Vervolgens wordt aandacht besteed aan het storten en verdichten van de betonspecie alsmede de afwerking van het betonoppervlak. Tot slot wordt nader ingegaan op de nabehandeling en bescherming van het betonoppervlak. Waar mogelijk is in de tekst verwezen naar de relevante normen en richtlijnen.

Hoofdstuk 5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies opgenomen en worden concrete aanbevelingen gedaan voor zowel de bouwpraktijk van bedrijfsvloeren als ook voor nader onderzoek. Ook worden aanbevelingen gedaan voor de ontwikkeling van praktische hulpmiddelen bij het ontwerp (rekenmodel, richtlijnen) en voor de ontwikkeling van het product ‘vloerenbeton’ door de betonmortelindustrie.

Stufib-rapport 12

Losse toplagen in monoliet afgewerkte betonvloeren

***analyse van de oorzaak en aandachtspunten ter
voorkoming***

Stufib \ Stutech studiecél 9

INHOUD

Woord vooraf

Samenvatting

Inleiding

1.	Monoliet afwerken van betonvloeren	7
2.	Ervaringen met praktijkgevallen	9
3.	Resultaten van onderzoek aan vloeren met losse toplagen	11
3.1	Algemene informatie	
3.2	Toegepaste betonsamenstelling	
3.3	Microscopisch onderzoek	
4.	Analyse schade-oorzaken	15
5.	Aanbevelingen ter voorkoming van losse toplagen	17
5.1	Aanbevelingen voor de huidige praktijk	
5.2	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	
	Literatuur	19
	Bijlagen	20
I.	Resultaten PFM onderzoek op vloeren met losse toplagen	
II.	Checklist betonvloeren met een losse toplaag	
	Nuttige adressen	27

Samenvatting

Hoofdstuk 1

In dit hoofdstuk wordt in het kort weergegeven op welke wijze monoliet afgewerkte betonvloeren vervaardigd worden.

Hoofdstuk 2

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van praktijkprojecten waar sprake was van een losse toplaag. Deze beschrijving heeft betrekking op de verschijningsvorm van dit schadefenomeen.

Hoofdstuk 3

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de resultaten van onderzoeken die op diverse vloeren met een losse toplaag zijn uitgevoerd. Dit heeft zowel betrekking op een analyse van het toegepaste beton en de samenstelling ervan, als op microscopisch onderzoek dat op een aantal praktijkvloeren is uitgevoerd.

Hoofdstuk 4

Dit hoofdstuk geeft analyses van de oorzaken van het loskomen van toplagen. Deze analyses zijn gebaseerd op de resultaten van de uitgevoerde onderzoeken, zoals beschreven in hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 5

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van maatregelen die getroffen kunnen worden ter beperking van het risico op een losse toplaag. Dit hoofdstuk geeft tevens aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

Stufib-rapport 13

Deuvelwerking van vloeren in geprefabriceerde stabiliteits- constructies

Stufib studiecel 10

ir. C.A.J. Sterken (voorzitter)
Prof. Dipl.-Ing. J.N.J.A. Vambersky (mentor)
ir. E.A. Pieterse (secretaris)
ir. R. van Alphen
ir. M.M.J. Falger
ir. S. Pasterkamp
ir. W. Peperkamp

juni 2007

Inhoud

Woord vooraf	3
Summary	7
1 Inleiding in prefabricage	13
1.1. Probleemstelling	13
1.2. Doelstelling	13
1.3. Introductie van het onderzoek	15
1.4. Definities	17
1.4.1. Gebouwmodel	17
1.4.2. Micromodel	17
1.4.3. Herhaalde belasting	17
1.4.4. Cyclische belasting	17
1.4.5. Aggregate interlock	17
1.5. Aannamen / randvoorwaarden	19
1.5.1. Algemeen	19
1.5.2. Micro modellering	19
1.5.3. Macro modellering	19
1.6. Theoretische benadering van de deuvel	21
1.7. Krachtenschema	23
1.8. Schematisering van de deuvel ten behoeve van de modellering	23
2 Belangrijkste conclusies uit het literatuuronderzoek	25
2.1. Conclusies Constructieve aspecten van gevels	25
2.2. Conclusies referentieonderzoek	25
2.2.1. Vervolgonderzoek	27
3 Belastingen op de constructie	29
3.1. Berekening gebouwgewicht	29
3.2. Verticale belastingen	29
3.2.1. Eigen gewicht	29
3.2.2. Veranderlijke belasting	29
3.2.3. Belastingen op de stabiliteitsconstructie	31
3.3. Belastingen in het vlak van de gevel	31
3.3.1. Gewicht van de binnengevel	31
3.3.2. Gewicht van de gevelbekleding	31
3.4. Het totale gewicht van de gevel	31
3.5. Gevolgen voor de micromodellering	33
3.6. Gevolgen voor de macromodellering	33
3.7. Windbelasting	35
3.7.1. Gevolgen voor de macromodellering	35

4 	Modelering van het probleem op microschaal	37
4.1.	Algemene gegevens	37
4.1.1.	Geometrische gegevens	37
4.1.2.	Bepaling afschuifstijfheid	37
4.2.	Eindige elementen modellen	39
4.2.1.	Model 1	39
4.2.2.	Model 2	39
4.2.3.	Model 3	41
4.2.4.	Model 4	41
4.2.5.	Model 5	43
4.3.	Conclusie ten aanzien van de modelkeuze	45
5 	Parameterstudie voor micromodel	47
5.1.	Parameters - categorie 1	49
5.1.1.	Plaatsing van de monitoringpunten	49
5.1.2.	Invloed van gevelelementen	49
5.1.3.	Randvoorwaarden van het model (opleggingen)	51
5.1.4.	Type EE-element	51
5.1.5.	Mesh grootte	51
5.1.6.	Belastingtypen	53
5.1.7.	Raamopeningen	53
5.1.8.	De afschuifstijfheid van de horizontale voeg	53
5.1.9.	Invloed van de stekken	53
5.1.10.	De gradiënt van de vjzelkracht op het model	55
5.1.11.	Belastingsimulatie	55
5.1.12.	Verschaling van de gevelelementen	55
5.2.	Parameters - categorie 2	57
5.2.1.	Hoogte van de vloerdeuvel	57
5.2.2.	Breedte van de vloerdeuvel	57
5.2.3.	De betonsterkteklasse van de vloerdeuvel	57
5.2.4.	Het wapeningspercentage van de vloerdeuvel	57
5.2.5.	Normaalspanning vloerdeuvel (gebouwgewicht)	57
5.2.6.	De betonsterkteklasse van de gevelelementen	57
5.2.7.	De voegbreedte van de open verticale voeg	57
5.3.	Parameters - categorie 3	59
5.3.1.	Opbouw connectie (doorsnede gevel)	59
5.3.2.	Stijfheid van de achterliggende vloeren	59
5.3.3.	Wapening van het prefab element	59
6 	Praktijkproeven	61
6.1.	Beschrijving proefopstelling	61
6.2.	Eigenschappen van gebruikte materialen	63
6.2.1.	7-daagse sterkte	63
6.2.2.	28-daagse sterkte	63
6.3.	Testprocedure	63
6.4.	Resultaten	65
6.4.1.	Maximale opneembare belasting	65
6.4.2.	Vervorming over de horizontale voeg	65
6.4.3.	Scheurenpatroon	67
6.4.4.	Afschuifstijfheid	67
6.4.5.	Terugkoppeling naar de literatuurstudie	69
6.5.	Conclusies ten aanzien van de praktijkproef	71
6.6.	Lange duur effecten	73
6.6.1.	Maximale afschuifspanning	73
6.6.2.	Vergrotingsfactor afschuifvervorming	73

7 	Parameterstudie met het ATENA model	75
7.1.	Geometrische gegevens	75
7.2.	Optimalisatie van deuveleigenschappen	79
8 	Toepassen van deuveleigenschappen in een gebouwmodel	83
8.1.	Case studie	83
8.2.	Randvoorwaarden	83
8.2.1.	Criterium één - uitbuiging	83
8.2.2.	Criterium twee – maximale afschuifvervorming	83
8.2.3.	Criterium drie - bovengrens	83
8.3.	Implementatie in het gebouwmodel	85
8.4.	Vergelijking met traditionele verticale voegverbindingen	85
8.4.1.	Continue verdeelde voegverbindingen	85
8.4.2.	Monoliete verbindingen	87
8.5.	Gebouwmodel	87
8.6.	Gebouwmodel studiecél 6	87
8.7.	Resultaten	89
9 	Conclusies en aanbevelingen	91
9.1.	Algemene conclusies	91
9.2.	Conclusies uit micromodellering van deuvolverbinding	91
9.3.	Conclusies uit de praktijkproeven	91
9.4.	Conclusies uit het parameteronderzoek met micromodellering	93
9.5.	Conclusies uit macromodellering (casestudie)	95
9.6.	Aanbevelingen	95
10 	Referenties	97
Bijlagen	(op te vragen bij de TU Delft)	99
Bijlage 1	Literatuurstudie	
Bijlage 2	Micro model studie	
Bijlage 3	Parameterstudie voor micromodellering	
Bijlage 4a	Werkplan praktijkproef	
Bijlage 4b	Voortgangsrapportage praktijkproef	
Bijlage 4c	Gegevens verwerking praktijkproef	
Bijlage 5	Parameterstudie met micromodellering	
Bijlage 6	Macromodellering	
Bijlage 7	Controleberekeningen	

Samenvatting

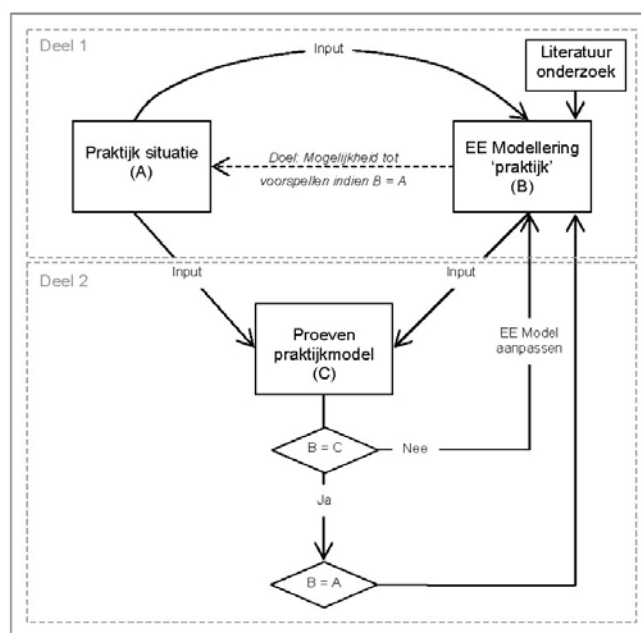
Prefabricage van beton is op de Nederlandse bouwmarkt sinds de tweede wereld oorlog een standaard fenomeen geworden. Door Stufib studiecel 6 is in oktober 2004 vastgesteld dat een stapeling van gevelelementen waarbij de verticale voegen over de hoogte van het gebouw verspringen vanuit constructief oogpunt een goed alternatief is voor traditionele voegtypen met doorlopende verticale voegen. Aangezien er vanuit uitvoeringstechnisch oogpunt nog steeds een voorkeur bestaat voor het verticaal stapelen, is het zinvol om de invloed van de deuvelfwerking van de vloeren nader te onderzoeken.

De doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de krachtswerking in en het bijhorende vervormingsgedrag van een vloerdeutel, als onderdeel van een betonnen vloerconstructie, in een stabiliteitsconstructie. De vloerconstructie is opgenomen in de gevelconstructie, die is opgebouwd uit gestapelde geprefabriceerde betonnen elementen met verticaal doorlopende open voegen. Hierbij dient de afschuifstijfheid door de deuvelfwerking van de meest toegepaste vloerconstructies (kanaalplaatvloeren en breedplaatvloeren) te worden onderzocht. Tevens wordt de invloed van de betonsterkteklasse en hoeveelheid wapening onderzocht.

Opbouw van het onderzoek (figuur 1)

Het onderzoek is gestart met een *literatuuronderzoek* naar de constructieve krachtswerking in een dragende gevel en naar referentiewaarden voor de resultaten uit dit onderzoek.

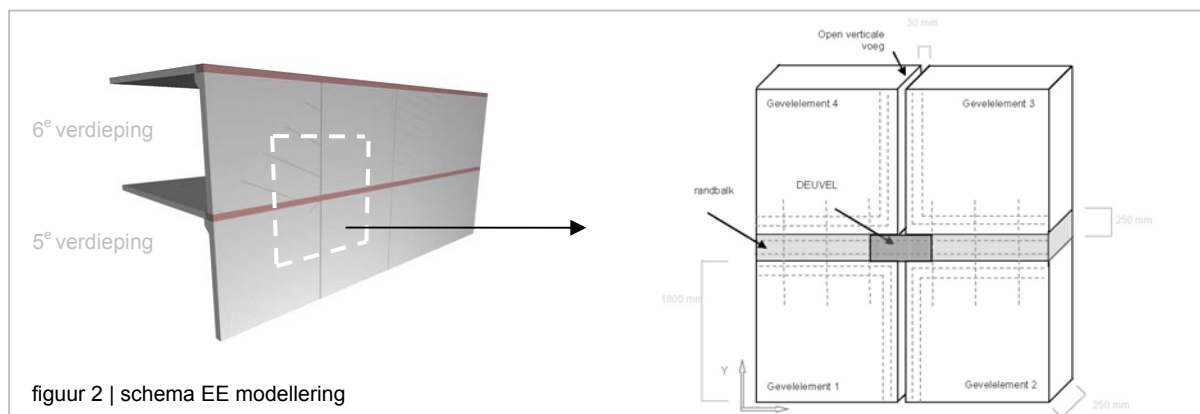
Om het probleem te modelleren zijn vijf EE modellen ontworpen. Uit de modellen is gekozen voor het eenvoudigste model met een goede respons. Op basis van gegevens uit de praktijk is voor de *eindige elementen (EE) modellering* met behulp van een parameterstudie een standaardmodel ontwikkeld. De prestaties van het standaardmodel zijn met praktijkproeven gekalibreerd. Om de resultaten van een statische belasting toepasbaar te maken in de praktijk zijn twee reductiefactoren bepaald voor de sterkte en stijfheid. Door het gebruik van de reductiefactoren is het geoorloofd om de deutel te gebruiken bij een cyclische belasting. Om de prestaties van de deutelverbinding te controleren is een gebouwmodel (casestudie) ontworpen voor een gevel van tien verdiepingen hoog. Met het gebouwmodel is een vergelijking gemaakt tussen de stijfheid van gevels met verschillende voegtypen (bijvoorbeeld: gevelelementen in metselwerkverband, getande gewapende voegen, monoliet).



figuur 1 | Schematisch overzicht onderzoek

Het onderzoek is opgebouwd uit zes onderdelen, die uiteindelijk hebben geresulteerd in vier tabellen met rekenwaarden voor verschillende uitvoeringen van vloerdeuvels.

In de *literatuurstudie* is wordt zowel aandacht besteed aan de constructieve aspecten van een prefab dragende gevel als aan referentieonderzoeken.



figuur 2 | schema EE modellering

Na de literatuurstudie is een modelonderzoek uitgevoerd met het eenvoudigste EE model die het probleem beschrijft. Het resultaat is een tweedimensionaal model voor een statische belasting (zie figuur 2).

Met een viertal *praktijkproeven* is de EE modellering gekalibreerd. De conclusie is dat de modellering een goede indicatie geeft voor de bezwijksterkte en de afschuifstijfheid. Verder is bepaald wat de reductiefactoren voor een cyclisch belasting zijn. Bij de reductiefactoren zijn de standaard (veiligheidsfactoren) toegevoegd. De uitkomst is dat de deuvel in de statische EE modellering tot 36 procent van zijn voorspelde bezwijkbelasting belast kan worden zonder dat een verlies optreedt aan de schuifspanning bij een cyclische belasting over een periode van 50 jaar. De afschuifvervormingen nemen door degradatie van het afschuifoppervlak in de tijd toe met een factor drie. Deze reductiefactoren zijn toegepast op alle weergegeven resultaten.

In een *parameterstudie* zijn variabelen ingevoerd in het micromodel om de invloed op de sterkte en stijfheid te bepalen. De resultaten zijn weergegeven in vier grafieken en vijf tabellen. De conclusie uit de grafieken is dat er een lineair verband bestaat tussen de sterkte/stijfheid en de hoogte, breedte en betonsterkteklasse. Het verband tussen het wapeningspercentage en de sterkte/stijfheid van de deuvel blijkt parabolisch te zijn. Een veranderde verhouding tussen aggregate interlock en deuvelwerking van wapening kan hierin een rol spelen. In tabellen worden de bovengrens en ondergrens gegeven voor de sterkte en stijfheid bij gestelde afmetingen. Tussen de grenzen kan lineair worden geïnterpoleerd.

De *macromodellering (casestudie)* is tweeledig opgezet. In het eerste deel is onderzocht of een deuvel toepasbaar is in een gebouwgevel van 10 verdiepingen. In het tweede deel wordt de gevel met betonnen deuvels vergeleken met alternatieve verticale voegverbindingen tussen de gevelementen. De alternatieven zijn afkomstig uit het onderzoek van Falger. De belangrijkste conclusie is dat het vervormingsgedrag van een gebouwgevel (10 verdiepingen; slankheid h/b 3,3:1) met de betonnen deuvels voldoet aan de NEN 6702. De uitbuiging van de gevel is circa 50 procent groter dan de uitbuiging van een gebouw met lasplaatverbindingen (2 stuks per verdieping) en circa 140 procent groter dan de uitbuiging van een monoliete gevel (B65). Uit een kostenanalyse blijkt dat het gunstiger is om een hogere betonsterkteklasse voor de vloerdeuvel toe te passen, dan een hoger wapeningspercentage.

Een terugkoppeling naar de praktijk laat zien dat een vloerdeuvel van 250 mm bij 250 mm (B35, 4 staven rond 16 mm), 2,7 maal meer dwarskracht kan opnemen dan de norm toestaat. Dit is gebaseerd op een berekende $\tau = 0,96 \text{ N/mm}^2$ uit artikel 8.2.3 (NEN 6720).

Tot slot kan geconcludeerd worden dat de betonnen deuvelverbindingen ter plaatse van de vloeren in een dragende gevel, opgebouwd uit prefab gevelementen met open verticale voegen, een goed alternatief vormen voor huidige verticale voegverbindingen.

Stufib rapport 14

Wrijvingsverliezen van VZA-strengen

Eindrapport van Stufib studiecél 8

Ing. J.A.M. Spaan (voorzitter)

Ir. J.H.A. van Beurden

Ir. A.F.H.M. Melssen

Ir. S.A.M. Venmans

Ing. S.V. van Ameijde (redactie)

Ir. A. de Boer (mentor, redactie)

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	1
2.	Het product VZA-streng	3
2.1.	Beschrijving van de VZA-streng	3
2.1.1.	Overzicht normen VZA-streng	3
2.1.2.	Blanke streng	3
2.1.3.	Vet	3
2.1.4.	HDPE-omhulling	4
2.2.	Eisen te stellen aan de VZA-streng	4
3.	Toepassingen van VZA-strengen	6
3.1.	Vloeren	6
3.2.	Tanks	6
3.3.	Externe voorspanning (geen onderdeel van dit rapport)	6
3.4.	Andere toepassingen	7
4.	Ontwerp en berekeningen van VZA-strengen	8
5.	Praktijkmetingen op inwendig gelegen VZA-strengen	10
5.1.1.	Inleiding	10
5.1.2.	Projectomschrijvingen	10
5.2.	Resultaten praktijkmetingen	15
5.3.	Analyse praktijkmetingen	15
5.4.	Voorstel Stufibcel VZA	19
5.5.	Vergelijk onderzoek Stufibcel en afstudeeronderzoek TU/e	20
5.5.1.	Afstudeeronderzoek TU/e	20
5.5.2.	Vergelijk onderzoek Stufibcel en afstudeeronderzoek TU/e	24
6.	Conclusies en aanbevelingen	26
6.1.	Conclusies	26
6.2.	Aanbevelingen:	27
Bijlage I: Beproevingsmethoden aan een VZA-streng		
Bijlage II: Overzicht normering voor VZA-streng		
Bijlage III: Metingen wrijvingsverliezen praktijkmetingen		
Bijlage IV: Herberekening resultaten conform voorstel Stufibcel		

Samenvatting

Het rapport nummer 14 van *Stufib* studiecél nummer 8 geeft de resultaten, conclusies en aanbevelingen weer van een onderzoek naar de getalswaarden van de wrijvingscoëfficiënt en het wobble-effect voor VZA (voorspanning zonder aanhechting).

Allereerst beschrijft het rapport de definitie, de toepassing en het gebruik van VZA-strengen. Een VZA-streng is een normaal geproduceerde 7-draads voorspanstreng die in een (2^e) productiehandeling voorzien wordt van een geëxtrudeerde mantel van HDPE, waarbij de tussenruimte wordt opgevuld met vet.

De aanleiding voor het onderzoek is de in de praktijk vaak optredende verschillen tussen de berekende verlengingen en de gemeten verlengingen. De doelstelling van het rapport is een beter inzicht te verkrijgen in de wrijvingsverliezen van een VZA-streng en te komen tot een advies of het raadzaam en verantwoord is de waarden van wrijvingscoëfficiënt en wobble-effect aan te passen.

Bij een vergelijking van de verschillende nationale en Europese (pr)normen blijkt dat de eigenschappen voor de VZA-streng niet eenduidig zijn vastgelegd. In dit rapport worden de eisen en de praktijkmetingen aan de VZA-streng overzichtelijk gerangschikt en vergeleken. Deze *Stufib* commissie komt, vooruitlopend op de Europese harmonisering met een aanbeveling voor de eisen waaraan een VZA-streng zou moeten voldoen en hoe getest moeten worden.

VZA-strengen vindt men in tal van toepassingen in de bouw. Voorbeelden hiervan zijn: vloeren, tanks, externe voorspanning, kademuren. Daarbij is de toepassing in vloeren en versterkte stroken / balken (onderdeel van een vloer) het meest algemeen. Hierop heeft dit rapport zich dan ook geconcentreerd.

Bij de berekening en het ontwerp van een constructie met VZA-strengen houdt de ontwerper rekening met de wrijving en de wobble factoren in zijn bepaling van de optredende verliezen. De waarden voor μ (wrijving) en φ_1 (wobble) kunnen worden ontleend aan de attesten voor voorspansystemen. Een attest is een KOMO- of ETAG-certificaat die een type goedkeuring van het voorspansysteem per bedrijf vastlegt.

Ter indicatie worden de volgende waarden genoemd:

omhulde strengen	μ	=	0,05	-	0,10	
	φ_1	=	0,03	-	0,06 rad/m	
blank voorspanstaal	μ	=	0,15	-	0,20	(mono-systeem)*
	μ	=	0,13	-	0,26	(multi-systeem)**
	φ_1	=	0,005	-	0,01 rad/m	(mono- en multi-systeem)*

* mono = voorspansysteem met één enkele streng;

** multi = een voorspansysteem met meerdere strengen in één kabel.

Vaak wordt bij omhulde strengen (VZA-streng) het gemiddelde van het bereik aangenomen. Dus voor de wrijvingscoëfficiënt wordt een waarde 0,075 aangehouden terwijl voor de coëfficiënt voor het wobble-effect een waarde van 0,045 wordt gehanteerd.

Geconcludeerd kan ook worden dat in de Eurocode(NEN EN 1992-1-1) [1] ten opzichte van NEN 6720 [5] een lagere waarde voor de coëfficiënt voor het wobble-effect en een hogere waarde voor de wrijvingscoëfficiënt wordt voorgeschreven. In hoeverre de in beide normen genoemde waarden goed aansluiten op de werkelijkheid is onderzocht door middel van een aantal praktijkmetingen.

Tabel 1 Coëfficiënten Eurocode en NEN

	Wrijvingscoëfficiënt	Wobble-effect [rad/m]
Eurocode [1]	0,19	0,005 – 0,01
NEN 6720 [5]	0,05 – 0,10	0,03 – 0,06

Om de waarde voor de wrijvingscoëfficiënt en de factor voor het wobble-effect te onderzoeken zijn in de praktijk een aantal praktijkmetingen uitgevoerd. Deze praktijkmetingen zijn verdeeld over een aantal projecten en diverse constructies. Naast voorspanstrengen met een recht kabelverloop zijn er ook voorspanstrengen met een gekromd kabelverloop toegepast.

Het wrijvingsverlies bij deze praktijkmetingen bij projecten is bepaald aan de hand van de waarde voor de wrijvingscoëfficiënt en de factor van het wobble-effect zoals deze tot nu toe in de praktijk wordt aangehouden voor de specifieke toepassing.

Voor de drie projecten waarin de VZA-strengen zijn toegepast in vloerconstructies is voor de wrijvingscoëfficiënt (μ) een waarde aangehouden van 0,075 en voor de factor voor het wobble-effect (ϕ_1) is een waarde aangehouden van 0,045. Voor de twee toepassingen in tanks zijn deze waarden 0,05 (μ) en 0,01 (ϕ_1).

Op basis van deze metingen zijn geen duidelijke tendensen af te leiden voor de diverse mogelijke andere invloeden op de grootte van het kabelkrachtverlies. Bij de verdere analyse van de meetresultaten wordt dan ook van de veronderstelling uitgegaan dat de gangbare formule voor de berekening van het kabelkrachtverlies een juiste weergave is van de werkelijkheid.

Aan de hand van de meetresultaten is het wobble-effect ($\mu \cdot \phi_1$) en de wrijvingscoëfficiënt bepaald. Vervolgens zijn aan de hand van de aldus bepaalde waarden voor de wrijvingscoëfficiënt en het wobble-effect de kabelkrachtverliezen voor de diverse praktijkmetingen opnieuw berekend.

Aangezien de omvang van de praktijkmetingen beperkt is kan er niet op verantwoorde wijze een onderscheid gemaakt worden tussen leverancier en diameter van de voorspanstrengen. Derhalve wordt voorgesteld voor alle leveranciers en diameters één waarde voor te schrijven voor wrijvingscoëfficiënt en de coëfficiënt voor het wobble-effect. Deze waarden dienen zodanig bepaald te zijn dat het hiermee berekende wrijvingsverlies met een zekerheid van 95% in de praktijk niet wordt overschreden.

Op basis van de beschikbare praktijkmetingen waarbij de praktijkmetingen bij beide rioolwaterzuiveringen in mindere mate zijn meegenomen zijn de volgende waarden bepaald:

$$\begin{aligned}\mu &= 0,02 \\ \mu \cdot \varphi_1 &= 0,0025 \\ \varphi_1 &= 0,125\end{aligned}$$

Met deze waarden zijn alle praktijkmetingen opnieuw berekend.

Op de Technische Universiteit Eindhoven is parallel aan het onderzoek van de *Stufibcel* een onderzoek uitgevoerd naar wrijvingsverliezen bij VZA-strengen. Het onderzoek bestond uit een literatuurstudie naar de achtergrond van de huidige modelvorming. Daarnaast zijn laboratoriummetingen uitgevoerd, om de wrijvingscoëfficiënt te bepalen, en zijn de praktijkmetingen (gelijk aan de metingen van de *Stufibcel*) uitgewerkt om invloedsfactoren voor de bepaling van het wrijvingsverlies vast te stellen.

De resultaten van de onderzoeken zijn in Tabel 2 uiteengezet.

Tabel 2 Resultaten onderzoek Stufibcel - afstudeeronderzoek TU/e

Onderzoek	Formule	Wrijvingscoëfficiënt	Wobble-effect
Stufibcel	conform NEN 6720	0,02	0,125
Afstudeeronderzoek TU/e	conform NEN 6720	0,04	0,045

Wat op te maken valt uit de adviezen is dat de huidige formule van NEN 6720 als basisformule gehandhaafd blijft en dat er een correctie van wrijvingscoëfficiënt en wobble-effect wordt geadviseerd. In beide gevallen wordt de wrijvingscoëfficiënt naar beneden bijgesteld. Bij het voorstel van de Stufibcel is het wobble-effect zodanig gekozen dat alle uitgevoerde metingen aansluiting vinden bij het voorstel. Het voorstel van de TU/e-afstudeeronderzoek is om de getalswaarde van wobble-effect niet bij te stellen. Wel wordt de bandbreedte die op dit moment in de norm staat teruggebracht tot een enkel getal. Op te maken valt dat zowel de correctie van het onderzoek uitgevoerd door de Stufibcel als het onderzoek uitgevoerd door het afstudeeronderzoek bij de TU/e een betere benadering geeft op het gemeten wrijvingsverlies. Bij langere voorspanstrengen met een gekromd kabelverloop benadert het voorstel van de Stufibcel beter de gemeten waarden. Bij voorspanstrengen met een recht kabelverloop geeft het voorstel van het afstudeeronderzoek aan de TU/e een betere benadering.

Samenvattend komt men dan tot de gegevens zoals zijn terug te vinden in Tabel 3.

Tabel 3 Wrijvingscoëfficiënt en wobble-effect

	Wrijvingscoëfficiënt	Wobble-effect [rad/m]
Eurocode [1]	0,19	0,005 – 0,01
NEN 6720	0,05 – 0,10	0,03 – 0,06
Stufibcel 8	0,02	0,125
Afstudeeronderzoek TU/e	0,04	0,045

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn:

- Uit de resultaten van de praktijkmetingen blijkt dat de huidige waarden van de wrijvingsverliezen en wobble factoren in de normen / productcertificaten te hoog zijn vastgesteld voor het product VZA (voorspanning zonder aanhechting)
- Naar aanleiding van een evaluatie van de formule voor het berekenen van de wrijvingscoëfficiënt en het wobble-effect trekt de commissie de conclusie dat er nog niet genoeg aanleiding is om de formule te wijzigen. Het huidige rekenmodel (formule) blijft het uitgangspunt.
- De bandbreedte van de huidige waarden voor de wrijvingscoëfficiënt en het wobble-effect, die gehanteerd worden voor de berekening van VZA (voorspanning zonder aanhechting), kunnen op een verantwoorde wijze naar beneden worden bijgesteld.
- Met deze bijgestelde waarden kan in geval van ontwerp een optimalere constructieberekening, en een efficiënter gebruik van Voorspanning zonder Aanhechting worden bereikt. Onder andere kunnen langere strengen eenzijdig te spannen.
- Met deze bijgestelde waarden kan de in praktijk optredende verschillen tussen gemeten verlengingen en (traditioneel) berekende verlengingen beter worden verklaard. Dit rapport van deze studiecél kan dienen als leeswijzer bij de verklaring van deze, in de praktijk regelmatig, optredende verschillen.
- Stufib studiecél raadt aan om wrijvingspraktijkmetingen te blijven uitvoeren. Daarmee wordt een grotere database verkregen in resultaten, waaruit nadere en specifiekere conclusies getrokken kunnen worden. Meer diversiteit in lengte, kromming, toepassingen geeft meer inzicht in de resultaten en de te hanteren bandbreedte voor wrijvingscoëfficiënt en wobble-effect.
- Een praktische richtlijn, op basis van ervaring, voor het ontwerpen en spannen van VZA-strengen in vloeren met VZA-strengen is onderstaand weergegeven (naar aanleiding van dit onderzoek en naar aanleiding van bijgestelde waarden voor de wrijvingscoëfficiënt en het wobble-effect):

VZA-vloeren	Ontwerp en berekening conform huidige waarden van de wrijvingcoëfficiënt en wobble-effect	Ontwerp en berekening conform in dit rapport bijgestelde waarden voor de wrijvingcoëfficiënt en wobble-effect*
1- zijdig spannen	Strengen < 30 meter	Strengen < 40 meter
Om en om spannen	Strengen tussen 30 à 40 meter	Strengen tussen 50 à 60 meter
2-zijdig spannen	Strengen langer dan 60 meter	Strengen langer dan 75 meter

* Dit is slechts een praktische richtlijn. De werkelijk toegepaste wijze van spannen hangt af van het totale berekende verlies in de VZA-strengen, het efficiënt gebruik van de strengen en de mogelijkheden om de strengen te spannen.

Stufib rapport 15

**Ontwerpaspecten met betrekking tot
scheurvorming in de constructieve druklaag
op vloeren van voorgespannen kanaalplaten**

Stufib studiecél 11

Ir. P. van Boom (voorzitter)
Ing. R. Klein-Holte (mentor)
Prof. Dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský
Ir. A. Milenković
L.E. van der Steen
Ing. J. de Wit
C.B.J. Velthorst BSc. (secretaris)

November 2007

Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Samenvatting	5
Inleiding	11
1. Druklagen op kanaalplaatvloeren	13
1.1. Kanaalplaatvloeren	13
1.1.1. Inleiding	13
1.1.2. Productie	13
1.1.3. Constructieve eigenschappen	14
1.2. Toepassingen van voorgespannen kanaalplaten	15
1.2.1. Afdragen verticale belasting	15
1.2.2. Afdragen horizontale belasting	15
1.2.3. Constructieve samenhang	16
1.3. Druklagen op kanaalplaatvloeren	17
1.3.1. Inleiding	17
1.3.2. Functies druklaag	17
1.3.2.1. Draagvermogen vergroten	18
1.3.2.2. Stijfheid vergroten	18
1.3.2.3. Stabiliteitsvoorziening	18
1.3.2.4. Constructieve samenhang	19
1.3.2.5. Lastspreiding	19
1.3.2.6. Overstekken	19
1.3.2.7. Vloeistofdichtheid	20
1.3.2.8. Egaliseren	20
1.3.2.9. Geluidisolatie	20
1.3.3. Ontwerp kanaalplaatvloer met druklaag	20
1.3.4. Uitvoering van een kanaalplaatvloer met druklaag	23
2. Modelbeschrijving	26
2.1. Samengestelde constructie	26
2.2. Verkorting	29
2.2.1. Inleiding	29
2.2.2. Kruipvervorming kanaalplaat	29
2.2.3. Krimpvervorming kanaalplaat	31
2.2.4. Krimpvervorming druklaag	33
2.2.5. Temperatuurdaling	33
2.2.6. Vervorming samengestelde constructie	34
2.3. Kromming	38
2.3.1. Inleiding	38
2.3.2. Excentrische voorspanning	40
2.3.3. Eigen gewicht kanaalplaat en druklaag	41
2.3.4. Belasting	41
2.3.5. Temperatuurgradiënt	41
2.4. Vervorming door verkorting en kromming	45
2.5. Treksterkte van beton	47
2.5.1. Verhardend beton	47

2.5.2.	Verhard beton	48
2.6.	Wapening en scheurwijdte.....	51
2.7.	Schuifspanning in het hechtvlak.....	53
2.7.1.	Schuifspanning door verkorting	53
2.7.2.	Schuifspanning door kromming	54
2.7.3.	Schuifsterkte	55
3.	Scheurvorming in druklagen	57
3.1.	Inleiding.....	57
3.2.	Scheurvorming bij verharding	60
3.2.1.	Inleiding.....	60
3.2.2.	Krimp.....	60
3.2.2.1.	Plastische krimp.....	60
3.2.2.2.	Chemische krimp	61
3.2.3.	Omgevingsfactoren.....	64
3.2.4.	Temperatuursinvloeden	65
3.2.5.	Betonsamenstelling.....	66
3.2.6.	Ontwerp	68
3.2.7.	Uitvoering.....	69
3.2.7.1.	Voorbereiding.....	69
3.2.7.2.	Stort druklaag	70
3.2.7.3.	Nabehandeling	70
3.3.	Scheurvorming boven langsvoegen	71
3.3.1.	Inleiding.....	71
3.3.2.	Voegvulling tussen de voorgespannen kanaalplaten	72
3.3.3.	Toegverschillen	73
3.3.4.	Plattegrond.....	74
3.3.5.	Wisselende belasting	74
3.3.6.	Stijfheid draagconstructie	75
3.3.7.	Temperatuur- en krimpinvloeden	75
3.4.	Scheurvorming boven kopvoegen	76
3.4.1.	Inleiding.....	76
3.4.2.	Vervorming samengestelde constructie.....	78
3.4.3.	Detailering oplegging	78
4.	Scheurwijdte-eisen per toepassing en vloerafwerking.....	83
4.1.	Inleiding.....	83
4.2.	Functies van de vloerafwerking.....	83
4.2.1.	Vloeistofdichtheid	84
4.2.2.	Hygiëne.....	85
4.2.3.	Scheurgevoeligheid	85
4.2.4.	Vlakheid en evenwijdigheid	86
4.2.5.	Esthetica	86
4.3.	Scheurwijdte-eisen.....	88
4.3.1.	Inleiding.....	88
4.3.2.	Vloeropbouw	88
4.3.3.	Scheurwijdte-eis	90
5.	Scheurvorming beheersen	92
5.1.	Inleiding.....	92
5.2.	Proces.....	93

5.3.	Maatregelen	95
5.3.1.	Minimaliseren oorzaken van scheurvorming	95
5.3.1.1.	Constructief ontwerp	95
5.3.1.2.	Betonsamenstelling.....	96
5.3.1.3.	Uitvoering.....	97
5.3.2.	Minimaliseren opgelegde vervorming in de druklaag.....	97
5.3.2.1.	Dilataties.....	98
5.3.2.2.	Detaillering	102
5.3.2.3.	Onthechtstroken.....	103
5.3.3.	Vloeropbouw	105
6.	Scheurreparatie.....	107
7.	Conclusies en aanbevelingen	108
7.1.	Conclusies.....	108
7.2.	Aanbevelingen	109
8.	Bronnenlijst.....	111

Samenvatting

Hoofdstuk 1

Voorgespannen kanaalplaten bieden de mogelijkheid om snel en eenvoudig een vloer te realiseren. Wanneer hogere eisen aan de vloer worden gesteld, kan een druklaag worden aangebracht. Een druklaag vergroot de sterkte, de stijfheid, de constructieve samenhang en de lastspreiding van de vloer. Ook zijn grotere overstekken mogelijk door wapening in de druklaag te plaatsen. Met een druklaag kan de vloer direct geëgaliseerd worden. Wanneer de druklaag wordt gevulderd, dient deze direct als vloerafwerking. Of een druklaag wordt toegepast, hangt af van de functie die aan de vloer wordt toegekend. Een kanaalplaatvloer met druklaag is erg geschikt om als vloerschijf te functioneren.

Hoofdstuk 2

De vervorming van de samengestelde constructie is gemodelleerd. De vervorming is gesplitst in een verkorting en een kromming, waarna beide bijdragen zijn gesommeerd.

Zowel de voorgespannen kanaalplaat als de druklaag leveren een bijdrage aan de verkorting van de samengestelde constructie. De voorgespannen kanaalplaat verkort door krimp, kruip en temperatuursinvloeden. De druklaag verkort door krimp en temperatuursinvloeden. De krimpverkorting van de druklaag is geheel meegenomen, de verkorting van de voorgespannen kanaalplaat is al voor een groot gedeelte opgetreden voordat de druklaag hecht aan de voorgespannen kanaalplaat. De grootste bijdrage aan de verkorting wordt geleverd door krimp van de druklaag en de temperatuurdaling.

Kromming van de voorgespannen kanaalplaat wordt veroorzaakt door de excentriciteit van de voorspanning, waardoor de voorgespannen kanaalplaat een toog krijgt. Het eigen gewicht van de voorgespannen kanaalplaat en de druklaag verkleint de toog. Na verharding van de druklaag is een gelijkmatig verdeelde permanente belasting en een temperatuurgradiënt aangebracht. Bij voorgespannen kanaalplaten met grote voorspangraad speelt de kruip van de voorspanning nog een rol. Bij alle voorgespannen kanaalplaten heeft de verdeelde belasting grote invloed.

De verkorting en de rotatie zijn samengenomen waarna de vervorming van de druklaag is berekend. In het model kan de vervorming onverhinderd optreden, waardoor grote waarden worden gevonden. In werkelijkheid zal de vervorming sterk worden belemmerd door de koppeling met de oplegging. De mate van belemmering bepaald de werkelijk optredende vervorming en spanning in de doorsnede. De berekende, onbelemmerde, scheurwijdten zijn minstens een factor 10 groter dan de scheurwijdten die in praktijk gevonden worden.

Hoofdstuk 3

Scheurvorming in druklagen wordt opgedeeld in drie categorieën. Per type scheurvorming worden de oorzaken en het scheurmechanisme behandeld. De drie categorieën zijn:

- Scheurvorming bij de verharding
- Scheurvorming boven langsvoegen
- Scheurvorming boven kopvoegen

Scheurvorming bij de verharding resulteert in plastische krimpscheuren. Door te snelle uittreding van vocht of te snelle afkoeling van de constructie kunnen scheuren ontstaan.

Scheurvorming boven langsvoegen is scheurvorming die vanuit de kelkvoeg doorloopt in de druklaag. Wisselende belasting zoals rijdende auto's zal reeds ontstane krimpscheuren in de kelkvoeg snel vergroten. Scheurvorming boven de langsvoegen is ook vaak zichtbaar naast stabiliteitselementen. Het uitzetten en krimpen van de vloerconstructie wordt door deze stijve elementen verhinderd, waardoor de druklaag scheurt.

Scheurvorming boven kopvoegen treedt voornamelijk op boven tussensteunpunten. Scheuren ontstaan boven de kopvoegen, tussen de voorgespannen kanaalplaten, door het verkorten van de vloerconstructie en het roteren van de vloerconstructie nabij de oplegging. Dit type scheuren loopt vaak door de gehele vloerdikte heen en resulteert in lekkages.

Hoofdstuk 4

Vloerafwerkingen zijn er in vele soorten en maten. Een overzicht van de verschillende eigenschappen is gegeven. Een vloerafwerking wordt in vele gevallen gekozen vanwege de esthetische eigenschappen. Een vloer kan echter zeer diverse functies bekleden, van puur functioneel tot een decoratieve vloer. De functie van de vloer, het type vloerafwerking en de vloerbouw bepalen de maximaal toelaatbare scheurwijdte in de druklaag.

Hoofdstuk 5

De effecten van scheurvorming in de druklaag zijn te minimaliseren door de oorzaken te minimaliseren, te voorkomen dat de scheurvorming doorloopt in de vloerafwerking of door de vloerafwerking geheel te ontkoppelen van de druklaag. Door de grote onzekerheden in de berekeningen blijft scheurvorming lastig voorspelbaar. Het minimaliseren van de oorzaken zal bij scheurgevoelige vloerafwerkingen niet voldoende zekerheid geven. Maatregelen in de vorm van dilataties, onthechtstroken of het geheel ontkoppelen van de vloerafwerking zijn in kritieke situaties noodzakelijk.

Hoofdstuk 6

Wanneer een druklaag is gescheurd, zijn er een aantal mogelijkheden om deze te repareren. Reparaties kunnen worden uitgevoerd met elastisch materiaal zodat voegbewegingen mogelijk blijven. Bij dunne vloerafwerkingen met materialen als epoxy of pvc is scheurreparatie altijd benodigd voor dat de vloerafwerking wordt aangebracht.

Hoofdstuk 7

Scheurvorming bij de verharding kan goed worden voorkomen door vakkundig en zorgvuldig te werken. Men moet niet bang zijn de stort van een druklaag uit te stellen wanneer de omgevingsfactoren het storten niet toelaten. Met name een goede nabehandeling is cruciaal om krimpscheuren te voorkomen.

Scheurvorming boven kelkvoegen, halverwege de overspanning, komt weinig voor en wordt toegeschreven aan een slechte voegvulling. Scheurvorming boven kelkvoegen, naast stabiliserende elementen, is te voorkomen door in het gebouwontwerp rekening te houden met het uitzetten en krimpen van de vloer.

Scheurvorming boven de kopvoegen is typisch voor druklagen op voorgespannen kanaalplaten. Wanneer mogelijk, wordt aanbevolen dilataties aan te brengen. Wanneer de constructieve of functionele eisen van de vloer dilataties niet toelaten, dan kunnen onthechtstroken worden toegepast. Het onthechten van de druklaag lijkt een goede methode om de scheurwijdte te beperken. Een goede detaillering is benodigd om scheurvorming bij de overgang te voorkomen. Praktijkervaring met onthechten is beperkt.

Stufib rapport 16

Massieve (zware) betonconstructies

Ontwerp: *Beheersing van de scheurvorming door
verhinderde krimp*

Technologie: *Beheersing van de temperatuurstijging door
hydratatie*

Uitvoering: *Aandachtspunten bij relatief volumineuze
constructiedelen en -constructies*

Eindrapport van Stufib studiecél 12 en Stutech studiegroep 57

Ir. J.C. Galjaard (voorzitter)

Ir. R.P.H. Vergoossen (secretaris)

Ir. B.E.J. Baetens

Ing. G.T. Bakker

Ing. R.H.C. van Berkel

Ir. W.J. Bouwmeester Ing. J. Dudar

Ing. E. Freriks

Dr.ir. H.W.M. van der Ham

W. de Moor

H.H.M. Soen

Ing. J. de Vries

Ing. P. de Vries FICT

Ir. G.M. Wolsink

Ing. R.A. Albers MICT (mentor Stutech)

Ir. G.Chr. Bouquet MICT (mentor Stufib)

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	2
SAMENVATTING.....	4
DISCUSSIE STUFIB/STUTECH LEDENVERGADERING	6
INHOUDSOPGAVE	7
1 INLEIDING	9
2 LITERATUUR.....	12
2.1 Volledig spectrum	12
2.1.1 Betonconstructies onder Temperatuur- en Krimpvervormingen [5]	12
2.1.2 CIRIA C660: Early-age thermal crack control in concrete [13]	12
2.1.3 ROK 1.2 [35] (ROBK 6 + aanvulling tunnels [34])	13
2.1.4 Cursusdictaat Verhardingsbeheersing Betonvereniging [18]	13
2.2 Ontwerp	13
2.2.1 Nederlandse voorschriften (VBC, VBT, VBU)	13
2.2.2 Europese voorschriften (NEN-EN 1992-1-1 en NEN-EN 1992-3)	14
2.2.3 ICE/0706/012 "The development of a revised unified approach for the design of reinforcement to control cracking in concrete resulting from restrained contraction" [19]	14
2.3 Betontechnologie	15
2.3.1 Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb)- Richtlinie: Massige Bauteile aus Beton [1]	15
2.3.2 Nederlandse voorschriften en richtlijnen	15
2.3.3 Betoniek	15
2.4 Uitvoering	16
2.4.1 Nederlandse voorschriften en richtlijnen	16
2.4.2 CUR-Aanbeveling 31 Nabehandeling en bescherming van beton [36]	16
2.4.3 NEN-EN 13670 [33]+NEN 8670	16
3 ONTWERP – KEUZE WEL OF NIET WAPENEN.....	17
3.1 Gevolgen temperatuurontwikkeling	17
3.1.1 Sterkteverlies en schade op termijn	17
3.1.2 Scheurvorming	17
3.2 Classificatie als massabeton	18
3.3 Kans op scheurvorming	18
3.3.1 Beperking van de kans op scheurvorming in het ontwerp	19
3.4 Ontwerpkeuze scheurvorming	20
3.5 Gevolg ontwerpkeuze	22
4 ONTWERP - SCHEURWIJDTEBEHEERSING	24
4.1 Effectieve wapeningszone	24
4.2 Optredende opgelegde vervormingen	24
4.3 Mate van verhindering	25
4.4 Bepaling benodigde wapening	27
5 BETONTECHNOLOGIE	28
5.1 Inleiding	28
5.2 Keuze voor de betonmengselsamenstelling	29
5.3 Betonsterkteklasse	29
5.4 Cementgehalte	30
5.5 Cementsoort	30
5.6 Vulstoffen	31
5.7 Toeslagmateriaal	32
5.8 Hulpstoffen	33
5.9 Water-cementfactor	33
5.10 Betonspecietemperatuur	34
5.11 Kwaliteitscontrole	35
6 UITVOERING	37

6.1	Inleiding	37
6.2	Vervormingen	38
6.3	Logistiek	38
6.4	Wapening	39
6.5	Storten	39
6.5.1	Stortopbouw	39
6.5.2	Verwerkbaarheid	40
6.5.3	Storten in de winter	40
6.5.4	Storten in de zomer	40
6.6	Verdichten	40
6.6.1	Overzicht houden	40
6.6.2	Naverdichten	41
6.7	Afwerken en nabehandelen	42
6.8	Verhardingsbeheersing	42
6.8.1	Koeling	42
6.8.2	Isoleren / Ontkisten	43
7	AFSLUITING	45
7.1	Aanbevelingen voor de praktijk	45
7.1.1	Communicatie	45
7.1.2	Het maken van de ontwerpkeuze	45
7.1.3	Documentatie ontwerpkeuze	45
7.1.4	Documentatie afwijkingen	45
7.1.5	Aanpassen samenstellingseisen per milieuklasse	45
7.2	Nader onderzoek	45
7.2.1	Scheurwijdtebeheersing door berekening van wapening	45
7.2.2	Betondekking	46
7.2.3	Water-cementfactor versus dekking	46
7.2.4	Karakteristieke sterkte	46
7.2.5	Invloed vliegashalte en nabehandeling op de dichtheid van de dekking	46
7.2.6	Onderzoek naar autogene krimp	46
	LITERATUUR	47
	NORMEN EN RICHTLIJNEN	48
	NUTTIGE ADRESSEN	49

Samenvatting

Bij het begrip 'zware betonconstructie' kent elke discipline in het bouwproces zijn eigen definitie en bijzondere maatregelen. Een eenduidige definitie over wat een zware betonconstructie is, kan daarom niet onmiddellijk worden gegeven. De auteurs concluderen dat juist de communicatie tussen de verschillende betrokken disciplines cruciaal zal zijn voor een goed eindproduct.

In Hoofdstuk 1 wordt een overzicht gegeven van de aspecten die bij de hydratatie van een zware betonconstructie van belang zijn. Naast het hoger oplopen van de temperatuur door de grotere massa, is ook de interne verandering die bij zware betonconstructies kan optreden, van belang. In beginsel is het dan mogelijk om, of de scheurwijdte te beperken door wapening, of om de kans op scheurvorming voldoende te verkleinen door een adequate verhardingsbeheersing.

Hoofdstuk 2 geeft een state-of-the-art overzicht van de voor zware betonconstructies van belang zijnde literatuur. Voor het gehele spectrum is naast het 'roze-boek' (Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvervormingen) vooral het CIRIA rapport C660 'Early-age thermal crack control in concrete' van groot belang. CIRIA C660 wordt onder meer aangehaald in de Richtlijnen voor het ontwerpen van kunstwerken van Rijkswaterstaat. Recentelijk hebben de auteurs van CIRIA C660 een aantal modificaties voorgesteld naar aanleiding van geconstateerde verschillen tussen theorie en praktijk. In Hoofdstuk 2 wordt verder aandacht besteed aan literatuur op het gebied van ontwerp, betontechnologie en uitvoering. Met name de Deutscher Ausschuss für Stahlbeton- Richtlinie (DAfStb) Massige Bauteile aus Beton - geeft aanpassingen van de betonsamenstelling voor zware betonconstructies.

Hoofdstuk 3 behandelt de keuze scheurwijdte beheersen versus verhardingsbeheersing. Onderscheid moet worden gemaakt tussen interne verandering (in het constructiedeel zelf) en externe verandering (verandering door aangrenzende constructiedelen). Om de kans op scheurvorming te reduceren kan verhardingsbeheersing worden ingezet. De kans op scheurvorming kan worden bepaald met behulp van een eindige elementen model, of via tabellen in o.a. CIRIA C660. In dit hoofdstuk worden maatregelen aangedragen die de kans op scheurvorming kunnen reduceren. Met behulp van een stroomdiagram kan de voor een benodigde dichtheidsklasse te volgen aanpak worden bepaald.

In Hoofdstuk 4 wordt aangegeven welke aspecten van belang zijn voor het bepalen, en beperken, van de scheurwijdte met behulp van wapening. Naast de effectieve wapeningszone zijn dit de optredende opgelegde vervormingen, en de verhardingsgraad. Bij het bepalen van de benodigde wapening moet onderscheid worden gemaakt tussen verandering aan de rand van het beschouwde constructiedeel, verandering aan de uiteinden van het beschouwde constructiedeel, en inwendige verandering in het constructiedeel.

Hoofdstuk 5 behandelt de betontechnologische aspecten van zware betonconstructies. Van belang is hierbij de ontwikkeling van de trekspanning in verhouding tot de treksterkte van het beton. Bij het samenstellen van een betonmengsel voor een zware betonconstructie moeten soms tegenstrijdige afwegingen worden gemaakt – enerzijds wil men de hoeveelheid cement zoveel mogelijk beperken om de hoeveelheid bij hydratatie vrijkomende energie te beperken, maar anderzijds kan het nodig blijken meer cement te gebruiken doordat bijvoorbeeld een dichte wapening het gebruik van een kleinere korrel noodzakelijk maakt. Door gebruik te maken van sterkte op een latere datum dan 28 dagen kan wellicht de hoeveelheid cement worden beperkt.

In het hoofdstuk wordt verder ingegaan op het cementgehalte en de cementsoort, de vulstoffen, het toeslagmateriaal en hulpstoffen. Een belangrijk aspect van dit rapport vormt de onder voorwaarden voorgestelde mogelijke verhoging van de water-cementfactor voor beton in de milieuklassen XD3, XS2 en XS3. Tenslotte wordt aandacht besteed aan de invloed van de temperatuur van de grondstoffen van de specie op de temperatuur daarvan.

Hoofdstuk 6 besteedt aandacht aan de uitvoering van zware betonconstructies. Er bestaan veel overeenkomsten met de uitvoering van reguliere betonconstructies, maar enkele punten

verdienen iets meer aandacht. Door de grotere volumes zal meer aandacht moeten worden besteed aan de logistiek. Dit geldt ook ten aanzien van het storten en verdichten van de specie. Het risico op nazakken is groter bij zware betonconstructies zodat hier ook meer aandacht aan zal moeten worden besteed. Voor de verhardingsbeheersing zijn de aspecten koelen en ontkisten/isoleren van belang.

In het afsluitende Hoofdstuk 7 worden een aantal aanbevelingen voor de praktijk gedaan, en worden voorstellen voor nader onderzoek gedaan.

Stufib-rapport 18

Bouwputten met permanente geprefabriceerde betonnen stempelramen

Stufib studiecel 13

Ir. C.A.J. Sterken (voorzitter)
Ir. J. Rindertsma (secretaris)
Prof. dipl.-ing. J.N.J.A. Vamberský
Prof.dr.ir. J.C. Walraven
Ing. H.J. Everts
Dr.ir. J.P.W. Bongers
Ing. F. Schaap
Ir. R. van Vught
Ing. R. Klein-Holte
Ir. W.J.M. Peperkamp
Ir. F.J. Kaalberg (mentor)

juli 2009

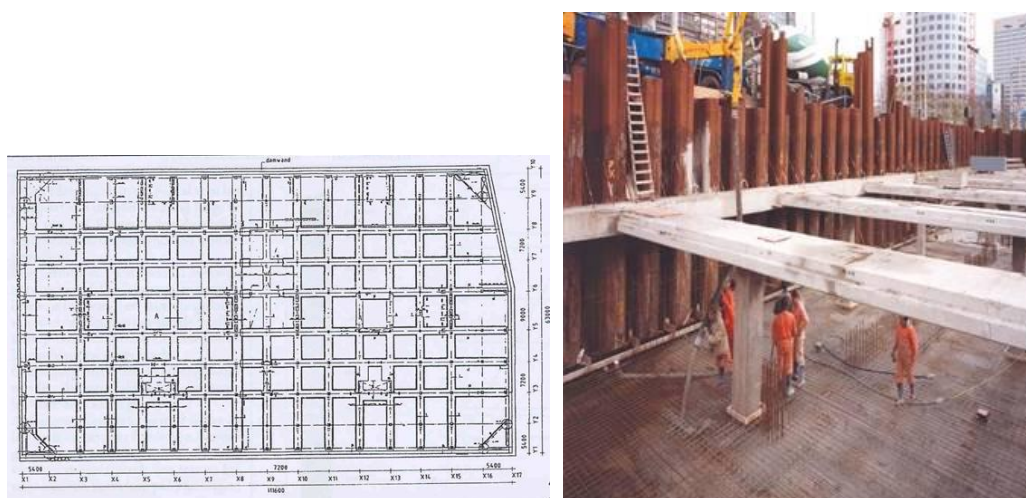
Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Samenvatting	4
Inleiding	11
Ondergronds bouwen	11
Probleemstelling.....	12
Doelstelling.....	13
Verloop onderzoek	13
1. Verslag Literatuurstudie	14
1.1. Diepe kelderconstructies.....	14
1.2. Top-down.....	15
1.2.1. Algemeen.....	15
1.2.2. Voorbeelden top-down	17
1.2.2.1. Buitenland.....	17
1.2.2.2. Nederland	18
1.2.3. Innovaties en variaties	20
1.2.4. Wanden-dak methode	21
1.3. Stempelramen	21
1.3.1. Permanente stempeling.....	22
1.4. Beton in het stempelraam in Nederland.....	23
1.4.1. Tijdelijke betonnen stempelramen.....	24
1.4.2. Permanente in-situ betonnen stempelramen.....	26
1.4.3. Permanente prefab betonnen stempelramen.....	27
2. Bepaling stempelkrachten	30
2.1. Uitgangspunten	30
2.2. Resultaten	32
3. Uitgangspunten onderzoek	34
3.1. Uitgangspunten betreffende de omgeving	34
3.2. Uitgangspunten betreffende de functionaliteit.....	34
3.3. Opbouw constructie en uitvoering	36
3.3.1. Globale fasering uitvoering	38
3.4. Lay-out algemeen hoofdsysteem stempelraam.....	39
3.5. Keuze kanaalplaten	40
3.5.1. Gegevens kanaalplaten	41
3.6. Stempelbelasting.....	42
4. Algemeen hoofdsysteem stempelraam.....	43
4.1. Belastingen	43
4.2. Globaal ontwerp algemene doorsnede stempelraam	44
4.3. Fasering uitvoering vloerconstructie	45
4.4. Kanaalplaten	46
4.4.1. Knik	46
4.4.2. Toepassing knikverkorters.....	48
4.4.2.1. Controle sterkte en stijfheid kniksteunen	49

4.5.	Specifieke belastingsaspecten.....	50
4.5.1.	Dwarskrachtcapaciteit kelkvoeg.....	50
4.5.2.	Kruip en herverdeling stempelbelasting.....	52
4.5.3.	Afname voorspanning ten gevolge van stempelbelasting.....	54
4.5.4.	Excentriciteiten stempelkracht.....	54
4.5.4.1.	Zeeg.....	55
4.5.4.2.	Rotatie oplegging.....	56
4.6.	Toetsen kanaalplaten.....	62
4.6.1.	Belastingen.....	62
4.6.1.1.	Interne belastingen.....	62
4.6.1.2.	Externe belastingen.....	63
4.6.1.3.	Stempelbelasting.....	64
4.6.1.4.	Belastingcombinaties.....	65
4.6.2.	Met knikverkorter.....	66
4.6.3.	Eisen.....	67
4.6.4.	Controle.....	69
4.7.	Beschouwing en conclusies.....	70
4.7.1.	Resultaten.....	72
4.7.2.	Conclusies.....	73
5.	Overige aspecten.....	75
5.1.	Kopse kant bouwput.....	75
5.1.1.	Oplossing met prefab beton.....	75
5.1.2.	Stijfheid opleggingen.....	77
5.1.3.	Aandachtspunten voor functionaliteit.....	80
5.1.4.	Uitvoeringsaspecten.....	81
5.2.	Sparingen.....	82
5.3.	Kolommen.....	84
6.	Vergelijking bouwkosten en -tijd.....	86
6.1.	Kostenvergelijking.....	86
6.1.1.	Uitgangspunten en aannames.....	86
6.1.2.	Resultaten.....	88
6.2.	Vergelijking bouwtijd.....	90
7.	Conclusies en aanbevelingen.....	92
7.1.	Conclusies.....	92
7.2.	Aanbevelingen.....	94
	Literatuur.....	95

Samenvatting

Ondergronds bouwen is in opkomst en zal in de toekomst steeds vaker worden toegepast in Nederland. Voor het uitvoeren van ondergrondse constructies wordt doorgaans met behulp van een damwandconstructie een bouwput gemaakt om de ontgraving stabiel te houden. De meest gebruikelijke manier in Nederland om een damwandconstructie te ondersteunen is, naast het gebruik van ankers, de toepassing van tijdelijke stalen stempelramen. Een andere interessante wijze om de damwand te steunen is om een deel van de uiteindelijke vloerconstructie tijdens de bouw te gebruiken in een stempelraam. Een dergelijk permanent stempelraam is enkele malen toegepast in de Nederlandse bouwpraktijk met behulp van in-situ beton, zoals bij de uitvoering van Rotterdam Plaza. Omdat de vloerconstructie van ondergrondse constructies steeds vaker wordt opgebouwd uit geprefabriceerde elementen, is de vraag ontstaan of het ook mogelijk is om prefab vloersystemen op een dergelijke manier te gebruiken.



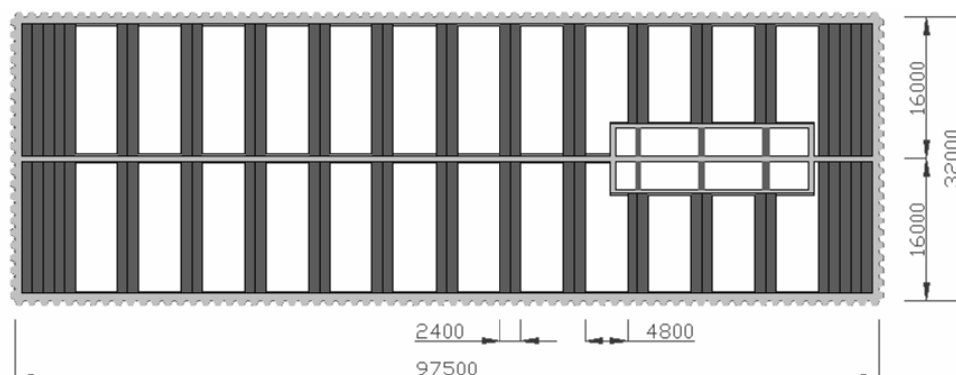
Figuur 1: De lay-out van het stempelraam van Rotterdam Plaza en een blik vanuit de bouwkuip

De doelstelling van dit onderzoek is het onderzoeken van de belangrijkste functionele en constructieve aandachtspunten en de noodzakelijke constructieve maatregelen bij het benutten van geprefabriceerde betonnen vloerconstructies of delen daarvan als permanente stempelconstructie. Eerst is een uitgebreide literatuurstudie ondernomen om de huidige kennis en ervaring met het onderwerp en relevante bouwmethoden te inventariseren. Daarna zijn berekeningen uitgevoerd met het programma MSheet om de stempelbelastingen te onderzoeken die bij bouwen in de Nederlandse ondergrond verwacht kunnen worden en waar een permanent geprefabriceerd betonnen stempelraam op gedimensioneerd dient te worden. Het onderzoek is verder afgebakend door een specifiek fictief project te kiezen en daarvoor een prefab betonnen stempelraam verder uit te werken. Eisen en wensen uit de uitvoering leidden tot een lay-out van het stempelraam.

In de literatuurstudie is gebleken dat betonnen stempelramen doorgaans worden toegepast vanwege de stijfheid, de eenvoudige natte verbindingen, de geringe voorbereidingstijd en de mogelijkheden voor integratie in de definitieve constructie en voor top-down bouwen. In de Nederlandse bouwpraktijk is het gebruikelijk om eerst een bouwput te realiseren en dan de ondergrondse constructie van onderaf (bottom-up) op te bouwen. Bij top-down bouwen wordt van boven naar beneden gebouwd. In een keer wordt dan nagenoeg de gehele vloerconstructie op een niveau aangelegd. Onder de vloer wordt daarna verder ontgraven en gebouwd. Afvoer van grond en aanvoer van materiaal geschiedt door kleine openingen in de vloer.

Om de mogelijkheden en aandachtspunten van permanente geprefabriceerde betonnen stempelramen te onderzoeken is een permanent stempelraam ontworpen op -2 niveau van een drielaagse ondergrondse parkeergarage van 32 bij 97,5 m² met vlakke parkeervloeren (geen split-level), die wordt uitgevoerd in het centrum van Rotterdam volgens het polderprincipe met permanente stalen damwanden. Daarbij is voornamelijk gekeken naar een garage met overspanningen van de vloer van 16 m. De vloerconstructie is dan opgebouwd uit kanaalplaten opgelegd op de gording en de middenbalk. De toegepaste platen zijn standaard leverbare platen met een hoogte van 320 mm, een lengte van 15 m en gangbare voorspanning.

De uitvoering stelt eisen aan de minimale openingen in het stempelraam. In verband met ontgraven, het hijsen van materiaal, materieel en van de prefab platen is onderstaande lay-out van het stempelraam gekozen. Ongeveer een derde van het totaal aantal kanaalplaten is verwerkt in het stempelraam, dat een stempelbreedte heeft van 2,4 m (twee platen) en openingen van 4,8 m breed.

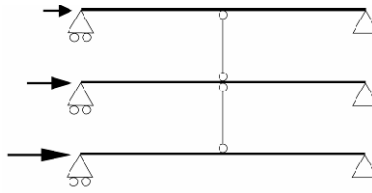


Figuur 2: Bovenaanzicht lay-out betonnen stempelraam (maten in mm)

De lay-out van het stempelraam laat zien dat op enkele plaatsen moet worden afgeweken van het hoofdsysteem van het stempelraam. Voor de kopse kanten van de bouwput moet een andere constructie worden ontworpen. Het toepassen van een horizontale wandligger door meerdere kanaalplaten naast elkaar te leggen en samen te laten werken met in-situ beton is een reële optie om de krachten op te nemen. Een andere en waarschijnlijk economische mogelijkheid is het toepassen van een volledig in het werk gestorte ligger. Ook voor de hellingbanen is een grote opening in de uiteindelijke vloer nodig. Tijdens de bouw kunnen kleine tijdelijke stalen elementen worden gebruikt om de stempelbelasting in de opening over te brengen. In de uiteindelijke situatie zal de gehele vloer als een schijf werken en de horizontale belasting om de sparing heen leiden.

Hoofdsysteem

Vanwege de slankheid van de kanaalplaten moet goed worden gekeken naar de knikstabiliteit bij toepassing van de grote axiale drukkracht. Uit de berekeningen blijkt dat de toepassing van knikverkorters tijdens de bouwfase noodzakelijk is om de standaard kanaalplaten te kunnen gebruiken in het stempelraam op niveau -2. De ondersteuning van de platen moet van bovenaf komen; in verband met de logistiek van de prefab elementen kunnen geen hulppalen worden gebruikt. De kanaalplaten kunnen door-en-door verbonden worden, bijvoorbeeld met behulp van aangepaste schroefstempels, om zo gesteund te worden door de stijvere elementen van het stempelraam op het niveau van de begane grondvloer.



Figuur 3: Platen op niveau -1 en -2 steunen af op de stijvere liggers van de begane grondvloer

Naast de reguliere belastingen op de vloerconstructie gedurende de gebruiksfase en belastingen door grond en calamiteiten tijdens de bouwphase werken op een stempelplaat ook buigende momenten vanwege de excentriciteit van de stempelkracht. De zeeg van een plaat en excentrische aangrijping van de stempelkracht bij de oplegging op de gording (bijvoorbeeld door verdraaiing van de damwand) zorgen samen met vervormingen ten gevolge van de verticale belasting voor excentriciteit van de stempelkracht en daarmee voor een extra eerste- en tweede-orde belasting. De spanningen die kunnen optreden in de stempelplaten zijn gecontroleerd aan de hand van de geldende normen. Hieruit blijkt dat de scheurwijdte-eis, die vaak belangrijk is bij kanaalplaatvloeren, vanwege de grote axiale drukkracht in dit geval niet maatgevend is. De kanaalplaten met een lengte van 15,0 m kunnen worden toegepast in het stempelraam op niveau -2 mits tijdens de bouwphase knikverkorters worden toegepast.

Ook is de berekening uitgevoerd voor andere typen kanaalplaten van zowel 15 m lang als 7,0 m lang. De kanaalplaten bezwijken in de uiterste grenstoestand door de negatieve momenten die tijdens de bouwphase kunnen ontstaan (kleinere profielen met lengte 7,0 m) of door positieve momenten tijdens de bouw- of de gebruiksfase (grotere profielen van 15,0 m).

De resultaten van de berekeningen zijn hoopgevend voor de mogelijkheden van permanente geprefabriceerde betonnen stempelramen. In onderstaande tabel zijn de maximaal toelaatbare stempelbelastingen weergegeven per plaat met bijbehorende plaatlengte.

Tabel 1: Indicatie maximaal toelaatbare stempelbelasting $q_{st,rep}$ in kN/m^l

Lente plaat	l = 7,0 m		l = 15,0 m	
Type plaat	HVP200	HVP260	HVP320	HVP400
Zonder knikverkorters	-	345	180	350
Met knikverkorters	-	380	555	945

Een indicatieve vergelijking van de bouwtijd en -kosten van uitvoering met behulp van permanente geprefabriceerde betonnen stempelramen en uitvoering volgens de bottom-up methode met een tijdelijk stalen stempelraam toont dat de toepassing van de betonnen stempelramen levensvatbaar is. In het algemeen zal bouwen met de betonnen stempelramen waarschijnlijk niet duurder zijn dan bouwen met een tijdelijk stalen stempelraam. In het specifieke geval van de drielaagse ondergrondse parkeergarage is zelfs een kleine winst te boeken in zowel bouwkosten als bouwtijd (beide circa 5%).

Aan het eind van het onderzoek is geconcludeerd dat permanente geprefabriceerde betonnen stempelramen voldoende mogelijkheden hebben om toegepast te worden bij de uitvoering van ondergrondse bouwprojecten tot vier à vijf lagen. Een belangrijk aandachtspunt is de wijze waarop de stempelbelasting bij de kopse kanten van de bouwput wordt opgenomen. Aanbevolen wordt om een fysisch niet-lineaire berekening uit te voeren voor de stempelplaten om nog beter inzicht te krijgen in de sterkte en stijfheid van de platen en de krachtswerking rond de opleggingen. Ook is het van belang om de praktische uitwerking van de noodzakelijke knikverkorters verder te bestuderen.

Stufib-rapport 19

Injecteren van voorspankanalen 2

Stufib studiecel 17

Ing. A. Hoogstraten (voorzitter)

Dr. Ir. A.J. Zielinski (secretaris)

Ir. W.B. Grundlehner

Ir. J.J.E. Mastbroek

Ir. W.J.M. Peperkamp

Ir. F. van Wagensveld

Dr. Ir. A. de Boer (mentor)

Inhoudsopgave

Woord vooraf	3
Inhoudsopgave	5
Samenvatting	9
1. Inleiding	11
2. Vormen voorspankanalen - omhullingen	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Omhullingen	13
2.3 Plaatsen van de omhullingen	14
3. Samenstelling en eigenschappen van injectiemortel	17
3.1 Materialen	17
3.1.1 Algemeen	17
3.1.2 Cement	17
3.1.3 Water	17
3.1.4 Hulpstoffen	17
3.1.5 Vulstoffen	17
3.2 Hoogwaardige injectiemortels en traditionele injectiemortels	17
3.3 Mengprocedure bij het aanmaken van injectiemortel	18
3.4 Eisen te stellen aan de injectiemortel	18
3.4.1 Consistentie	18
3.4.2 Waterafscheiding	19
3.4.2.1 Hoogwaardige mortels	19
3.4.2.2 Traditionele mortels	19
3.4.3 Volumeverandering	19
3.4.3.1 Hoogwaardige mortels	19
3.4.3.2 Traditionele mortels	20
3.4.5 Sterkte	20
3.4.6 Temperatuur	20
3.4.7 Schadelijke stoffen	20
3.4.8 Ouderdom van het cement	21
3.5 Proeven	22
3.5.1. Geschiktheidonderzoek	22
3.5.2. Controleproef	22
3.5.3. Verwerkingscontrole	22
4. Apparatuur	23
4.1 Inleiding	23
4.2 Mengers	23
4.3 Pompen	23
4.4 Leidingen	24
4.5 Compressoren	24
4.6 Reservematerieel	24
4.7 Storing, Calamiteiten	24
5. Injectie van voorspankanalen	27
5.1 Voorbereidingen voor de werkzaamheden op de bouwplaats	27

5.1.1 Werkplan.....	27
5.2 Werkzaamheden op de bouwplaats vooraf aan de daadwerkelijk injectie	27
5.2.1 Controle materialen en materieel	27
5.2.2 Preparatie ankerkoppen voor injecteren	28
5.2.2.1 Inleiding.....	28
5.2.2.2 Injecteren met napersen.....	28
5.2.2.3 Injecteren zonder napersen	30
Bij kabels met strengen die met hoogwaardige injectiemortels worden geïnjecteerd wordt in het algemeen een injectiekap zowel aan de injectiezijde alsook aan de ontluuchtingszijde gemonteerd. Deze kap moet van een injectie opening (of ontluuchting) zijn voorzien zoals het op figuur 1 is weergegeven.....	30
5.2.3 Spoelen van voorspankanalen	30
5.2.4 Doorblazen van voorspankanalen.....	30
5.3 Maatregelen bij lage of hoge temperaturen.....	31
5.3.1 Maatregelen voor het injecteren in de winter.....	31
5.3.2 Maatregelen bij injecteren met lage temperaturen	31
5.3.3 Maatregelen bij injecteren met hoge temperaturen	32
5.4 Tijdelijke bescherming van het voorspanstaal tegen corrosie	33
5.5 Injecteren van voorspankanalen	34
5.5.1 Algemeen	34
5.5.2 Injectie- en ontluuchtingspunten	34
5.5.3 Symbolen	35
5.5.4 Injecteren van spankanalen met strengen met napersen.....	37
5.5.4.1 Inleiding.....	37
5.5.4.2 Horizontale voorspankanalen	38
5.5.4.3 Lussen en rechte verticale voorspankabels	41
5.5.5 Injecteren van voorspankanalen met strengen of draden zonder napersen	43
5.5.5.1 Inleiding.....	43
5.5.5.2 Na-injecteren	44
5.5.5.3 Horizontale voorspankanalen	44
5.5.5.4 Lussen en rechte verticale voorspankabels	47
5.5.6 Injecteren van staven	48
5.5.6.1 Injecteren	48
5.5.6.2 Na-injecteren	48
6. Controle op vulling van het kanaal	49
6.1 Algemeen	49
6.2 Tijdens het injecteren	50
6.2.1. Injecteren met hoogwaardige mortels (zonder napersen)	50
6.2.2. Injecteren met traditionele mortels (met napersen).....	51
6.4 Slotopmerkingen	53
7. Afwerken van de ankerkoppen, injectie- en ontluuchtingsslangen	55
7.1 Algemeen	55
7.2 Het afwerken van de uitwendige ankers, die ingestort worden.....	55
7.3 Het afwerken van uitwendige ankers in een inkassing.....	56
7.4 Het afwerken van injectie- c.q. ontluuchtingsslangen.....	57

8. Conclusies en aanbevelingen.....	59
8.1 Conclusies	59
8.2 Aanbevelingen.....	59
9. Literatuur	61
10. Nuttige adressen	62
11. Bijlagen.....	64
A. Beproeving waterafscheiding en volume verandering volgens [2]	

Samenvatting

De injectie van voorspankanalen is van groot belang voor de duurzaamheid van voorgespannen betonconstructies. In STUVO-rapport 84 [1] zijn hiertoe in 1988 praktische richtlijnen gegeven. De in dit rapport opgenomen eisen en richtlijnen werden in 2003 aangepast vooral met het oog op de eerste Europese Normen voor het injecteren (NEN-EN 445, 446, 447 [2,3,4]). Dit heeft in een Stufib-rapport 5 [5] geresulteerd.

In 2007 is er een nieuwe uitgave van de Europese Normen voor het injecteren (NEN-EN 445, 446, 447 [6,7,8]) verschenen. Daarin zijn nieuwe testmethoden en eisen met betrekking tot injectiemortels gesteld. Voorts zijn er in de afgelopen jaren verschillende hoogwaardige, kant-en-klare injectiemortels ontwikkeld.

Daarom is door Stufib besloten om studiecél 17: "Injecteren van voorspankanalen 2" te installeren. Deze studiecél had als hoofdtak het herzien van een Stufib-rapport nr.5 "Richtlijnen voor het injecteren" dat adequaat op de geldende Europese voorschriften en de huidige inzichten afgestemd is en geschikt is voor algemeen gebruik in de Nederlandse bouwpraktijk. Hierbij zijn nog toegevoegd de praktijkervaringen van Nederlandse opdrachtgevers, opdrachtnemers en leveranciers; allen vertegenwoordigd in de studiecél.

Voorspankanalen worden in het beton gevormd door achterblijvende metalen of kunststof omhullingbuizen. De eisen waaraan omhullingbuizen moeten voldoen gecombineerd met de verwerkingseisen, zijn uit meerdere normen afkomstig en in dit rapport opgenomen. Op de hoogste punten van voorspankanalen moeten injectie-/ontluchtingsopeningen worden aangebracht die goed moeten kunnen worden afgesloten. Het aantal en de positie van de injectie-/ontluchtingsopeningen is afhankelijk van de vorm en de lengte van het voorspankanaal en dient per werk bepaald te worden. Mogelijke kabelconfiguraties met de bijbehorende achtergronden en aandachtspunten zijn in dit rapport opgenomen voor voorspansystemen met strengen, draden en staven.

De injectiemortel bestaat uit cement type CEM I, water en injectiehulpstof(fen). Het type en dosering van de toe te passen hulpstof bepaalt of er sprake is van een traditionele mortel met in het algemeen een hoge waterafscheiding of een hoogwaardige mortel met een hoge aanvangsterkte en geen of weinig waterafscheiding. Hoe de mengsels onderscheiden worden van elkaar is aangegeven inclusief beproevingsmethoden voor het meten van de waterafscheiding. Daarvoor de hoogwaardige mortels niet bekend is of lucht- en/of waterinsluitingen kunnen optreden tijdens het injecteren, wordt, indien het mogelijk is, de voorkeur gegeven aan het injecteren met traditionele injectiemortels gecombineerd met napersen. Bij draden en staven en in enkele uitzonderingsgevallen bij strengen is napersen niet mogelijk. In die gevallen dient altijd met hoogwaardige mortels te worden geïnjecteerd. Voor toepassing dient middels een geschiktheidonderzoek van een mortel, gecombineerd met de toe te passen apparatuur, aangetoond te worden dat aan alle eisen wordt voldaan. Tijdens de injectiewerkzaamheden dient middels een verwerkingscontrole aangetoond te worden dat de in situ vervaardigde mortel geschikt is voor verwerking. Voor de bij het injecteren benodigde mengers, pompen, leidingen, compressoren en reservematerieel zijn eisen en aandachtspunten opgenomen. Tijdens en na het uitvoeren van de injectie kan men de vulling van de voorspankanalen controleren en maatregelen nemen om eventuele aanwezige holle ruimten op te vullen. Hiervoor zijn meerdere mogelijkheden opgenomen. Om een duurzame voorgespannen constructie te verkrijgen hoort naast een goede injectie ook een goede afwerking van de ankerkoppen, injectie en ontluchtingsslangen. Dit om toetreden van vocht via deze weg te voorkomen. Hoe deze afwerking het beste uitgevoerd kan worden, is aangegeven.

De belangrijkste conclusies zijn:

- Het rapport geeft een goed beeld van de huidige stand van zaken betreffende het injecteren van spankanalen. Dit geldt voor zowel de ontwikkelingen op materiaal gebied als ook de uitvoeringsmethoden inclusief toe te passen materieel en de geldende normen en regelgeving.
- In de nieuwe Europese normen zijn nieuwe beproevingsmethoden en eisen ingevoerd, vooral met betrekking tot de waterafscheiding van injectiemortels. Aan de verscherpte eisen kunnen alleen hoogwaardige mortels voldoen
- Het gebruiken van hoogwaardige mortels biedt echter nog geen garantie voor volledige vulling van voorspankanalen. Het probleem van mogelijke water- en luchtopsluitingen blijft bestaan.

- Voor voorspankanalen met strengen wordt nog steeds de in Nederland gebruikelijke en beproefde injectiewijze met napersen voor de meeste gevallen aanbevolen. Deze methode biedt de meeste zekerheid op volledige vulling van voorspankanalen.

In dit rapport wordt onderscheid gemaakt tussen twee injectiemethoden en er worden praktische aanwijzingen gegeven betreffende praktische toepassingen daarvan.

1. Injecteren met hoogwaardige mortels

- hierbij zijn eisen en beproevingsmethoden van NEN-EN 445, 446, 447 [6,7,8] uit 2007 geheel van toepassing
- deze mortels vertonen geen of erg weinig waterafscheiding
- deze mortels zijn vooral geschikt voor voorspankabels met staven en draden
- deze mortels zullen ook voor voorspankabels met strengen moeten worden gebruikt als de in Nederland ontwikkelde unieke injectiewijze met napersen niet wordt toegepast

2. Injecteren met traditionele mortels

- hierbij zijn eisen en beproevingsmethoden van (NEN-EN 445, 446, 447 [2,3,4]) uit 1996 in principe gehandhaafd
- deze mortels zijn alleen te gebruiken voor voorspankanalen met strengen waarbij de in Nederland gebruikelijke werkwijze met het injecteren en napersen vereist is.

Als belangrijkste aanbeveling van deze studie geldt dat men betrokken dient te blijven bij de ontwikkelingen in binnen en in buitenland, met name op het gebied van nieuwe kant-en-klare mortels en onderzoeken naar het gedrag van deze mortels tijdens het injecteren van verschillende soorten voorspankabels in voorspankanalen met diverse verlopen en lengtes.

Meer inzichten zijn noodzakelijk om bredere toepassingen van hoogwaardige mortels mogelijk te maken.

Stufib-rapport 20

Betonsterkte vs. Duurzaamheid

Relatie tussen sterkte en duurzaamheid van beton

Stufib studiecel 18

ing. R.H.C. van Berkel
ing. A.A. van den Bos (voorzitter)
P.J. Dekker
J. van Eldik
ir. T.W. Groeneweg (secretaris)
Drs. H.G.A. Kouwenhoven
O.J. Kronemeijer
ing. M.R.J. Swinkels
ing. T. de Veer
ir. R.P.H. Vergoossen
ir. J. Frenay (mentor)

Inhoudsopgave

Erratum.....	3
Woord vooraf	4
Samenvatting.....	5
Inleiding	11
1 Probleemstelling.....	13
1.1 Twee werelden.....	13
1.1.1 De constructeur.....	13
1.1.2 De betontechnoloog.....	13
1.2 Een voorbeeld	14
2 Betonsterkte volgens de norm.....	15
2.1 Regelgeving met betrekking tot sterkte	15
2.2 Regelgeving m.b.t. duurzaamheid	19
3 Verschillende invloeden op de betonsterkte	21
3.1 Invloeden op de betonsterkte vanuit de betontechnologie.....	21
3.1.1 Invloed van de waterbindmiddelfactor (wbf/wcf) op de sterkte van het beton	21
3.1.2 Invloed van de seizoenen op de betondruksterkte	22
3.1.3 Invloed van de milieuklasse op de sterkte van het beton	22
3.1.4 De sterkte in de praktijk.....	24
3.2 Invloeden op de betonsterkte vanuit de constructie en het toepassingsgebied	25
3.2.1 Eisen in de infrastructuur sector	25
3.2.2 Eisen in de utiliteitsbouw	26
3.2.3 Eisen in de woningbouw.....	27
3.2.4 algemeen.....	27
3.3 De consequenties van de sterkte van beton	28
4 De sterkte in de tijd	30
4.1 Vroege fase (voor 28 dagen).....	30
4.2 Karakteristieke druksterkte (28 dagen en verder).....	31
4.3 Gebruiksduur fase (91 dagen en verder).....	31
5 Invloed op scheurvorming.....	33

5.1	Betondekking nadelig bij zuivere trek	33
5.2	Krimp.....	33
5.3	Verhinderde vervorming.....	34
6	Duurzaamheid	35
6.1	Weerstand van beton tegen aantasting.....	35
6.1.1	Chloriden geïnitieerde corrosie	35
6.1.2	Carbonatatie geïnitieerde corrosie	36
6.1.3	Oppervlakte schade door vorst, eventueel in combinatie met dooizouten	36
6.1.4	Chemische aantasting	37
6.1.5	Aantasting van binnenuit	37
6.2	Milieubelasting	38
6.2.1	Invloed betonmengsel.....	38
6.2.2	Invloed betonconstructie.....	38
7	Conclusies en aanbevelingen	40
7.1	Algemeen.....	40
7.2	Aanbevelingen voor de normen.....	40
7.2.1	Druksterkte na 28 dagen	40
7.2.2	Toepassing luchtbelvormers	40
7.2.3	Omrekening gemeten sterktewaarden naar normsterkten	40
7.2.4	Introductie constructiefactor.....	41
7.3	Aanbevelingen voor de constructeurs.....	41
7.3.1	Betonsterkteontwikkeling in de tijd.....	41
7.3.2	Milieuklasse kiezen	41
7.3.3	Verhinderde vervormingen.....	41
7.4	Aanbevelingen voor de betontechnologen.....	41
7.4.1	Sterkteprognose	41
7.4.2	Sterkteontwikkeling na 28 dagen	42
7.4.3	Vermindering cementgehalte.....	42
7.5	Aanbevelingen voor de aannemer.....	42
7.5.1	Snelheid	42
7.5.2	Schakel tussen de technoloog en de constructeur.....	42
	Literatuur	44
	Bijlage I Betonmengselsterkte toename na 28 dagen.....	45
	Bijlage II Vergelijking (inter)nationale eisen aan betonsamenstelling.....	46

Bijlage III	Sterkteontwikkeling beton na 28 dagen	50
Bijlage IV	Voorbeeld productinformatieblad	51
Bijlage V	Krimp.....	53
Bijlage VI	Formule van “Buist”	59

Samenvatting

Constructeurs en betontechnologen leven vaak elk in een ‘eigen wereld’. Overleg tussen deze twee werelden vindt maar heel beperkt plaats. Meestal zit er tevens een uitvoering tussenin die een grote rol in dit overleg behoort te krijgen.

‘De constructeur’ kiest doorgaans voor zijn/haar ontwerpberekeningen een betonsterkteklasse. Alle berekeningen worden hierop gebaseerd, waaruit de afmetingen en wapening van de constructie volgen. Milieuklassen, die gechargeerd gezegd nou eenmaal nodig zijn voor berekeningen aan de scheurvorming, worden doorgaans uit een tabel gekozen. Vaak wordt voor de zekerheid liever een milieuklasse zwaarder dan lichter gekozen. Dat er echter ook een relatie is tussen de sterkte en de milieuklasse beseft ‘de constructeur’ vaak niet.

‘De betontechnoloog’ krijgt de betonsterkteklasse en de milieuklasse door. Met de milieuklasse kan de technoloog de soort cement en de waterbindmiddelfactor bepalen. Uit deze keuze volgt automatisch ook een bepaalde betonsterkte. Het zou goed kunnen dat deze sterkte hoger is dan de sterkte waarmee de constructeur zijn berekeningen heeft uitgevoerd. Dat een sterker beton kan leiden tot grotere scheuren en daardoor een snellere aantasting van de wapening in de constructie beseft ‘de betontechnoloog’ vaak niet.

‘De uitvoering’ heeft ook zijn invloed op de sterkteontwikkeling van beton. Wanneer de voortgang van een werk dit vraagt wordt regelmatig aan de betonmortelleverancier gevraagd om reeds na enkele dagen een bepaald sterkteniveau te realiseren om te kunnen ontkisten of om te kunnen voorspannen. Wanneer dit sterkteniveau niet met het oorspronkelijke betonmengsel wordt gerealiseerd zal de betontechnoloog het mengsel aanpassen door te kiezen voor een snellere cementsoort, de water-cementfactor te verlagen of een combinatie hiervan. Het resultaat is echter altijd dat ook nu de eindsterkte substantieel hoger kan liggen dan waarmee de betonconstructeur zijn berekeningen heeft uitgevoerd.

Betonsterkte wordt doorgaans aangeduid als een 28-daagse karakteristieke sterkte. De ontwikkeling van de sterkte stopt echter niet na die 28 dagen. In een situatie waarbij een constructie pas op een laat tijdstip met hoge lasten wordt belast zou in de berekeningen van de constructeur ook uitgegaan kunnen worden van de verwachte sterkte op dat tijdstip. Hierdoor zou bijvoorbeeld een lagere betonsterkte gekozen kunnen worden.

Nu pakt een dergelijke berekening doorgaans echter ongunstiger uit. Om met een sterkte op een later tijdstip dan 28 dagen te rekenen dient volgens de Eurocode namelijk een reductiecoëfficiënt $k_t = 0,85$ over de sterkte te worden toegepast. Aanbevolen wordt te onderzoeken of deze coëfficiënt k_t gunstiger kan worden gekozen. Een voorzet wordt alvast gegeven waarbij in de periode tussen 28- en 91-daagse sterkten de coëfficiënt wordt verlaagd.

Tevens wordt een aanzet gegeven om een constructiefactor in te voeren in de sterkte van beton. Hiermee kan in ogenschouw worden genomen dat bijvoorbeeld platen en wanden een veel grotere herverdelingscapaciteit hebben dan individuele kolommen en balken. Door meer beton te gebruiken bij herverdeling maakt het minder uit dat een klein stukje beton minder sterk is. Bij een kolom kan zo’n zwakke plek wel snel tot bezwijken leiden. Vandaar dat de partiële veiligheidsfactor op de betonsterkte bij elementen met veel herverdeling verlaagd zou kunnen worden.

De constructeur kijkt bij zijn duurzaamheidberekeningen naar de scheurvorming van beton en de het effect daarvan op de aantasting van de wapening. Hierbij dient hij te beseffen dat er een zekere relatie bestaat tussen de milieuklasse die gekozen wordt voor de scheurvormingstoets en de sterkte die het beton daardoor automatisch krijgt. Als dit bekend is kan de sterkte die hierdoor verkregen wordt in de scheurvormingberekeningen worden gehanteerd. Ook verhinderde vervormingen en krimp zijn belangrijke elementen voor scheurvorming. Niet altijd wordt dit punt door constructeurs gerealiseerd, met name in de utiliteitsbouw en woningbouw kan hier meer aandacht aan worden besteed.

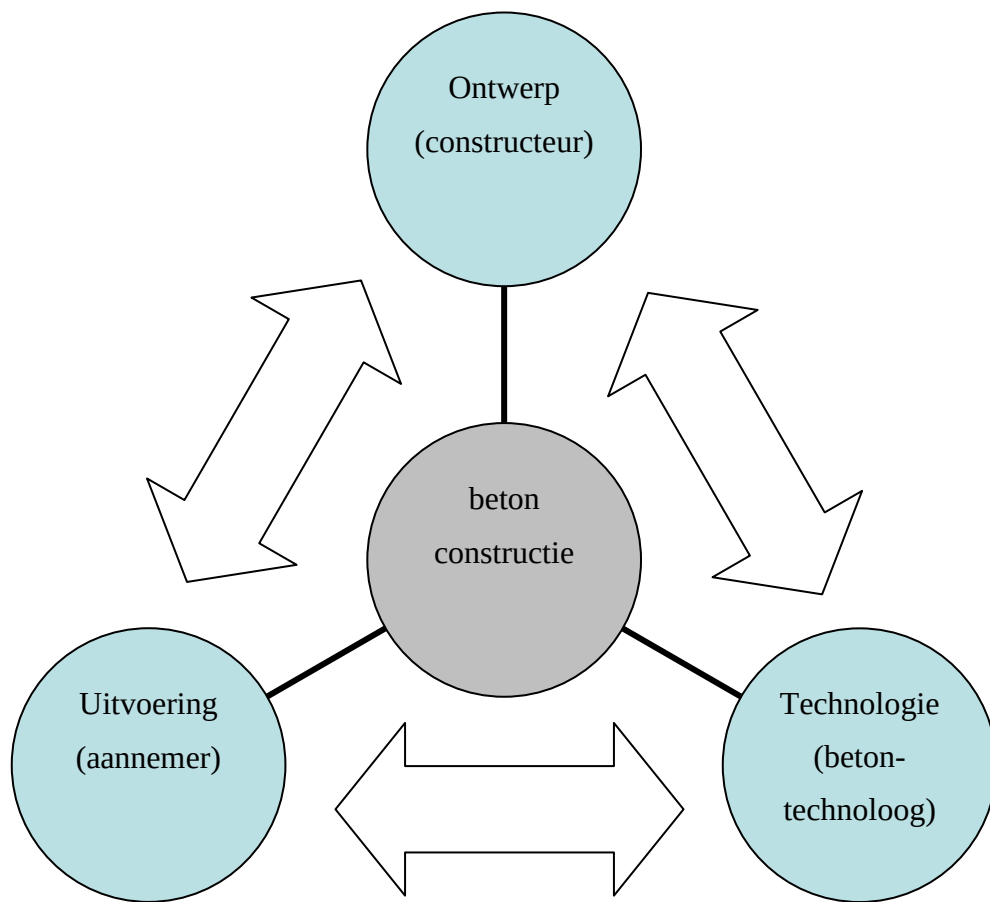
De betontechnoloog kijkt bij zijn duurzaamheidberekening naar de dichtheid van het beton ‘tussen de scheuren’. Een hogere sterkte kan dus echter negatief uitpakken voor duurzaamheid vanuit het oogpunt van de constructeur. De constructeur is er al bij geholpen als de technoloog terugkoppelt dat de sterkte hoger uitpakt door de milieuklassen dan de sterkte die de constructeur had opgegeven.

Tevens wordt aangeraden om een ontwerpgrafiek voor de sterkteontwikkeling van het beton over de tijd mee te geven bij de gegevens van een betonmengsel. Deze grafiek hoeft geen juridische onderbouwing te hebben. Het doel is dat die praktisch door de constructeur kan worden gebruikt om zijn berekeningen te optimaliseren voor het handig gebruiken van een latere sterkte. De grafiek kan bijvoorbeeld de verwachte sterkten van het mengsel weergeven tussen 3 en 91 dagen na storten.

Naast de duurzaamheid vanuit het oogpunt van de constructeur en de betontechnoloog wordt in het voorliggende rapport ook aandacht besteed aan duurzaamheid vanuit het oogpunt van milieu. Cement is de grootste energiegebruiker binnen het beton. Door deze hoeveelheid te reduceren kan dus de milieubelasting door beton worden gereduceerd.

Aanbevolen wordt dat de betontechnoloog zelf meer aandacht besteedt aan de discussie om het cementgehalte in beton te verminderen. Dit biedt niet alleen de milieuwinst, maar heeft eveneens een positief op de scheurvorming van beton.

Ook de uitvoering (de aannemer) heeft een belangrijke rol in het proces van communicatie. Daarmee wordt de volgende driehoek van wezenlijk belang geacht.



Concluderend wordt vooral aanbevolen om de dialoog tussen de verschillende ‘werelden’ te verbeteren. Onderlinge communicatie, maar vooral terugkoppeling aan elkaar, tussen de constructeur, de betontechnoloog en de aannemer kunnen de kwaliteit van het beton en dus de constructie zeer ten goede komen.

Stufib-rapport 21 / STUTECH-rapport 29

Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO₂

Fase A: state-of-the-art

Stufib studiecel 19 / STUTECH studiecel 61

Albers, R.
Eldik van, J.
Frenay, J. W. (mentor Stutech)
Fütterer, M.P.
Kamerling, M.W.
Kronemeijer, J.
Lanser, P.A. (voorzitter)
Moel de, M.R.
Pluis, M.P.J.
Poel van der, M.
Sarabèr, A.J. (secretaris)
Vermeulen, E.M.M.
Wolf van der, M.R. (mentor Stutech)

12 november 2012

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Inhoudsopgave	iv
Afkortingen en begrippen	vi
Samenvatting.....	ix

1.	Inleiding	1
1.1	Achtergrond en probleemstelling	1
1.2	Duurzaamheid en andere aspecten	2
1.3	Beton en duurzaamheid	4
1.4	Doelstelling en uitgangspunten	9
1.5	Aanpak.....	10
2.	Bepalingsmethoden, databases en instrumenten	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Bepalingsmethoden	15
2.2.1	Inleiding	15
2.2.2	Systeemgrenzen	15
2.3	Databases.....	17
2.3.1	Nationale MilieuDatabase (NMD)	17
2.3.2	MilieuRelevante ProductInformatie (MRPI) bladen	19
2.3.3	European Life Cycle Database (ELCD)	19
2.3.4	Ecoinvent Database	20
2.4	Instrumenten	20
2.4.1	GPR Gebouw.....	20
2.4.2	Eco-Quantum.....	22
2.4.3	BREEAM-NL	23
2.4.4	GreenCalc+	24
2.4.5	LEED	25
2.4.6	CO ₂ -prestatieladder	26
2.4.7	DuBoCalc (BREEAM-NL Infra).....	28
2.4.8	Protectio Globus	29
2.4.9	Diversen.....	29
2.5	Trends, lacunes en overlap	30
2.5.1	Inleiding	30
2.5.2	Trends.....	30
2.5.3	Lacunes	30

2.5.4	Overlap	31
3.	Opinies en meningen	32
3.1	Algemeen.....	32
3.2	Resultaten.....	33
4.	Basisopties voor verduurzaming	39
4.1	Inleiding	39
4.2	Initiatiefase.....	40
4.2.1	Basisoptie 1: verlengen gebruiksduur met behoud van functie	40
4.2.2	Basisoptie 2: verlengen gebruiksduur met andere functie	42
4.3	Ontwerpfase.....	42
4.3.1	Basisoptie 3: ter plaatse gestort vervangen door prefab of vice versa	42
4.3.2	Basisoptie 4: slankere kolommen toepassen.....	43
4.3.3	Basisoptie 5: toepassen slimme configuraties van balken en platen	43
4.3.4	Basisoptie 6: reduceren van de lengte van de overspanning.....	43
4.3.5	Basisoptie 7: vervangen gewapend door voorgespannen beton	44
4.3.6	Basisoptie 8: verhogen betonsterkte	44
4.4	Uitvoeringsfase	45
4.4.1	Basisoptie 9: aanpassen samenstelling bindmiddel.....	45
4.4.2	Basisoptie 10: verlagen bindmiddelgehalte	46
4.4.3	Basisoptie 11: vervangen primair door secundair toeslagmateriaal	47
4.4.4	Basisoptie 12: optimaliseren nabehandeling	47
4.4.5	Basisoptie 13: verlengen ontkistingstijden.....	48
4.4.6	Basisoptie 14: toepassen rekenwaarde sterkte na 56-91 dagen.....	49
4.5	Gebruiksfase.....	49
4.5.1	Basisoptie 15: toepassen betonkernactivering	49
4.6	Recyclingfase.....	50
4.6.1	Basisoptie 16: verbeteren hergebruik na ontmanteling/sloop	50
5.	Discussie	51
6.	Nabeschuwing en vooruitblik	53
6.1	Nabeschuwing	53
6.2	Vooruitblik	54
	Literatuur	56
	Bijlage A – Vragenlijst interviews.....	58
	Bijlage B – Samenvatting interviews.....	59
	Bijlage C – Beschrijving LCA.....	66
	Bijlage D – Verslag ledenvergadering 10 oktober 2012	69

Samenvatting

Ontwerpers en betonconstructeurs krijgen steeds vaker te maken met opdrachtgevers, die kwantitatieve informatie willen hebben over de hoeveelheid CO₂ die nodig is voor de productie van een betonmengsel of betonconstructie. Artikel 5.9 van het Bouwbesluit 2012 vraagt met zoveel woorden ook om die informatie. De vraag heeft daarmee niet alleen een betekenis voor de markt, maar ook een publiekrechtelijke basis.

In dit rapport van STUTECH-STUFIB studiecél 61/19 wordt dieper ingegaan op de mogelijkheden om de gevraagde informatie zelfstandig te vergaren en te kwantificeren.

Het tweede en belangrijkste onderwerp van de gezamenlijke studie van technologen en constructeurs betreft de identificatie van een aantal basisopties waarmee de hoeveelheid CO₂ (carbon footprint) kan worden verminderd in het integrale bouwproces.

In de inleiding wordt kort stilgestaan bij de achtergrond van de CO₂-problematiek in relatie tot beton. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van de diverse databases, bepalingsmethoden en rekeninstrumenten die op de markt zijn.

In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de opinies van een aantal belangrijke partijen in de markt en gezaghebbende deskundigen over de relatie tussen beton en CO₂. Uit de gehouden interviews blijkt dat men voldoende wegen ziet om duurzaamheid als criterium mee te nemen in het ontwerpproces. Het ontbreken van voldoende betrouwbare kengetallen ervaart men als een duidelijke belemmering die opgelost moet worden.

Mede op basis van deze inventarisatie in het veld zijn zestien basisopties geïdentificeerd en kwalitatief uitgewerkt. Deze worden in hoofdstuk 4 nader beschreven. De geïdentificeerde basisopties zijn:

- Verlengen gebruiksduur met behoud van functie.
- Verlengen gebruiksduur met andere functie.
- Ter plaatse gestort vervangen door prefab of vice versa.
- Slankere kolommen toepassen.
- Toepassen slimme configuratie balken en platen.
- Reduceren van de lengte van de overspanning.
- Vervangen gewapend door voorgespannen beton of vice versa.
- Verhogen betonsterkte.
- Aanpassen samenstelling van het bindmiddel.
- Verlagen van het bindmiddelgehalte.
- Vervanging primair door secundair toeslagmateriaal.
- Optimaliseren nabehandeling.
- Verlengen ontkistingstijden.
- Toepassen rekenwaarde sterkte na 56-91 dagen.
- Toepassen betonkernactivering.
- Verbeteren hergebruik na ontmanteling/sloop.

De basisopties staan niet alleen voor CO₂ reductie maar ook voor reductie van materiaalgebruik en sluiten van ketens.

In fase B van de studie zullen deze basisopties kwantitatief uitgewerkt worden in een aantal cases voor diverse betontoepassingen.

Transportsystemen voor prefab elementen bij hoge gebouwen (> 200 m)

Eindrapport van Stufib studiecél 20

Ir. J.W.A. Geel (mentor)

Inhoudsopgave

Woord vooraf	iv
Samenvatting.....	v
Inhoudsopgave	xi
1. Inleiding	1
1.1. Leeswijzer.....	1
2. Onderzoeksopzet.....	3
2.1. Probleemstelling	3
2.2. Doelstelling.....	3
2.3. Scope	3
2.4. Plan van Aanpak.....	4
3. Samenvatting literatuurstudie	5
3.1. Stand van zaken.....	5
3.2. (Constructieve) uitgangspunten.....	7
3.3. Referentieonderzoek.....	7
4. Vergelijking uitvoeringsmethoden.....	9
4.1. Uitvoeringsmethoden	9
4.2. Opsomming van de kenmerken	10
4.3. Vergelijking uitvoeringsmethoden	14
4.4. Onderzoeksgebied	14
5. Het transportsysteem in het bouwproces	15
5.1. Het bouwproces	15
5.2. Variabelen en relaties	17
5.3. Conclusies.....	22
6. Cyclustijd	23
6.1. Cyclustijd.....	23
6.2. Kraanbezetting.....	24
6.3. Overige handelingen.....	29
6.4. Projecten.....	31
6.5. Conclusies.....	37
6.6. Aanbevelingen	38

7. Verletrisiko.....	40
7.1. Regenverlet.....	40
7.2. Vorstverlet	40
7.3. Windverlet	42
7.4. Bewegingsanalyse van het element gedurende transport	49
7.5. Conclusies.....	57
7.6. Validatie en interpretatie	58
7.7. Aanbevelingen	59
8. Casus	61
8.1. Het gebouw.....	61
8.2. Realisatie met een hijsloods	65
8.3. Realisatie met hijskranen.....	72
8.4. Kosten.....	77
8.5. Robuustheid.....	78
8.6. Conclusies.....	79
8.7. Aanbevelingen	80
9. Conclusies	81
10. Discussie	83
11. Aanbevelingen	85
Begrippenlijst	86
Bronvermelding	89
 Bijlagen	 91
<i>Op te vragen bij TU Delft, sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies</i>	
Bijlage I: Vergelijking bouwmethoden	
Bijlage II: Relaties	
Bijlage III: Beaufort schaal	
Bijlage IV: Prognosekalender	
Bijlage V: Slingerbeweging van het element	
Bijlage VI: Roteren van het element	
Bijlage VII: Elementindeling (casus)	
Bijlage VIII: Verticale transportgeleiding (casus)	
Bijlage IX: Kraanbezetting hijsloods (casus)	
Bijlage IX: Kraanbezetting hijskranen (casus)	

Samenvatting

De laatste decennia is er een duidelijke toename van geprefabriceerde betonnen hoogbouw. Steeds vaker wordt een hoogtegrens overschreden welke eerder niet voor mogelijk werd gehouden. Hierdoor rijst de vraag hoe hoog we daadwerkelijk met een prefab bouwmethode kunnen bouwen.

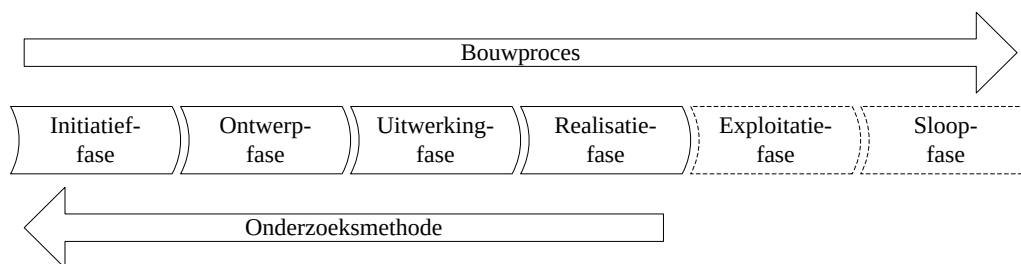
De voortgang van een prefab bouwmethode is volledig afhankelijk van het productietempo van de bouwploeg en de mogelijkheid tot verticaal transport in relatie met de tijdsduur. Met name dit laatste aspect is afhankelijk van de gebouwhoogte en kan, bij een toename van de gebouwhoogte, nadelig zijn voor een prefab bouwmethode voor hoogbouw. Daarnaast neemt op hoogte de windsnelheid toe en daarmee de kans op verstoringen van het bouwproces. Op basis hiervan is de probleemstelling:

Het is onbekend in welke mate de uitvoeringstijd wordt beïnvloed door een toename van de gebouwhoogte bij geprefabriceerde betonnen hoogbouw.

De probleemstelling richt zich op de realisatiefase van het bouwproces. Om een mogelijke optimalisatie te kunnen gebruiken, is het van belang te onderkennen welke andere fasen van het bouwproces beïnvloed worden door de eigenschappen van het transportsysteem. Derhalve is de doelstelling:

Het kwantitatief bepalen van de invloed van het transportsysteem op het bouwproces van geprefabriceerde betonnen hoogbouw (boven de 200 meter).

Het onderzoek is in drie delen verdeeld, te weten een literatuurstudie, een theoretisch kader en een casus. De literatuurstudie dient als uitgangspunt met een analyse van de huidige situatie, de randvoorwaarden en de toegepaste transportsystemen. In het theoretisch kader is onderzocht waar de realisatie van geprefabriceerde betonnen hoogbouw boven de 200 meter zich onderscheidt van al reeds beproefde uitvoeringsmethoden. Daarnaast zijn de (systeem)eigenschappen met een (directe) relatie met de gebouwhoogte onderzocht en kwantitatief inzichtelijk gemaakt. In de casus is de invloed van een optimalisatie van de eigenschappen van het transportsysteem onderzocht op de realisatiefase, evenals de consequenties op eerdere fasen in het bouwproces.



Afbeelding 1: De onderzoeksmethode en het bouwproces

De uitvoeringsmethode van geprefabriceerde betonnen hoogbouw boven de 200 meter onderscheidt zich ten opzichte van beproefde uitvoeringsmethoden voornamelijk op het verticale transport van en naar de verdiepingsvloer en het horizontale transport op de verdiepingsvloer van het materiaal in de ruwbouw- en gevel-dakfase van de bovenbouw.

De (on)mogelijkheden van het transportsystemen hebben, naast de invloed op de realisatie-fase, ook invloed op de ontwerp- en de initiatieffase.

Met behulp van relatiediagrammen zijn de kwalitatieve relaties van de systeemeigenschappen met de proceseigenschappen, de productiemiddelen, het ontwerp en de omgeving bepaald. Hieruit volgt

Stufib rapport 23

Betonkernactivering in de uitvoering

Eindrapport van Stufib studiecél 21

Jaap Cederhout	(BAM Utiliteitsbouw)	Stubeco/Stufib
Aad Fuchs	(BubbleDeck)	Stubeco/Stufib
Gijs Kreunen	(VBI)	
(tot 1/10/2013)		
Casper Manshanden	(Van Driesten Bouw)	Stubeco
(tot 1/10/2012)		
Frans Verlaan	(Geelen Beton)	
Geert Ververs	(WTH Vloerverwarming & -koeling)	
Henk Wapperom	(C&BC / BV)	Stubeco
Jan Tol	(Ballast Nedam Infra)	mentor Stubeco
Jeroen Frénay	(ENCI)	mentor Stufib

2 maart 2014

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
2.	Aanpak	9
3.	Probleemstelling	11
4.	Wat is betonkernactivering?.....	12
5.	Werkingsprincipe	14
6.	Thermisch actieve betonvloeren	15
7.	Leidingsystemen	17
8.	Overleg in voortraject en uitvoering	18
Bijlage I	Checklist Thermische Betonactivering	20
Bijlage II	Overzicht Vloertypes	22

Stufib-rapport 24 / STUTECH-rapport 30

Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton – toegespitst op CO₂

Fase B: uitwerking basisopties

Stufib studiecel 22 / STUTECH studiecel 63

Albers, R.H.J.

Arkel, van T.

Bijl, M.B.L.

Dekker, L.J.G.

Dingenouts, M.

Dorrenboom, G.J.

Fütterer, M.P.

Gabriëls, F.W.M.

Heusden, van, J.F.

Lanser, P.A. (voorzitter)

Moel, M.R.

Mulders, S.G.C.

Pero, H.M.A.

Pluis, M.P.J.

Poel van der, M.

Reen, van R.J.A.

Robbemont, A.J.

Sarabèr, A.J. (secretaris)

Schoenmakers, J. C.M.

Schoutens, P.

Schuur, H.M.L.

Sloten, van J.J.

Swinkels, M.R.J.

Vergoossen, J.P.H.

Vermeulen, E.M.M.

Wolf van der, M.W.O. (mentor Stutech)

Frenay, J.W. (mentor Stufib)

16 februari 2015

Inhoudsopgave

Voorwoord	II
Inhoudsopgave	IV
Afkortingen en begrippen	VI
Samenvatting.....	IX
1. Inleiding	1
1.1 Achtergrond en probleemstelling.....	1
1.2 Doelstelling en uitgangspunten	2
1.3 Aanpak.....	2
2. Selectie cases.....	4
3. Betonnen bestrating	5
3.1 Algemene beschrijving	5
3.2 Systeemgrenzen	6
3.3 Varianten/scenario's.....	6
3.4 Uitgangspunten.....	8
3.5 Ontwerp en berekeningen	9
3.6 Gevoeligheidsanalyse	10
3.7 Evaluatie van de case	10
3.8 Geraadpleegde bronnen	11
4. Woning met gietbouw of prefab beton	12
4.1 Algemene beschrijving	12
4.2 Systeemgrenzen	12
4.3 Varianten/scenario's.....	12
4.4 Uitgangspunten.....	13
4.5 Ontwerp en berekeningen	13
4.5.1 Gietbouw.....	13
4.5.2 Prefab beton	16
4.6 Ontwerp en berekeningen	16
4.6.1 Gietbouw.....	16
4.6.2 Prefab beton	18
4.7 Gevoeligheidsanalyse	18
4.8 Evaluatie van de case	18

5.	Parkeergarage	21
5.1	Algemene beschrijving	21
5.2	Systeemgrenzen	21
5.3	Varianten/scenario's.....	21
5.4	Uitgangspunten.....	22
5.5	Ontwerp en berekeningen	23
5.6	Gevoeligheidsanalyse	25
5.7	Evaluatie van de case	25
6.	Viaduct.....	27
6.1	Algemene beschrijving	27
6.2	Systeemgrenzen	28
6.3	Varianten/scenario's.....	28
6.4	Uitgangspunten.....	29
6.5	Ontwerp en berekeningen	30
6.5.1	Dekconstructie	30
6.5.2	Onderbouw	31
6.5.3	Stootplaten en schampkanten.....	31
6.6	Gevoeligheidsanalyse	32
6.6.1	Resultaten.....	32
6.6.2	Invloedsparameters.....	33
6.7	Evaluatie van de case	34
6.8	Geraadpleegde bronnen	35
7.	Evaluatie	36
8.	Conclusies	42
Bijlage A	Referentieprojecten Cases viaduct.....	43
Bijlage B	Resultaten berekeningen Viaduct.....	51
Bijlage C	Achtergronden ontwerp parkeergarage	61
Bijlage D	Achtergronden Prefab wandelementen	71
Bijlage E	Verslag ledenvergadering Stutech/Stufib	73

Samenvatting

Ontwerpers en betonconstructeurs krijgen steeds vaker te maken met opdrachtgevers, die kwantitatieve informatie willen hebben over de hoeveelheid CO₂ (carbon footprint) die nodig is voor de productie van een betonmengsel en/of betonconstructie. Artikel 5.9 van het Bouwbesluit 2012 vraagt met zoveel woorden ook om die informatie. De vraag heeft daarmee niet alleen een betekenis voor de markt, maar ook een publiekrechtelijke basis.

In Fase A van deze studie zijn 16 basisopties gedefinieerd om betonnen bouwwerken of bouwdelen te verduurzamen. De geïdentificeerde basisopties zijn:

1. Verlengen gebruiksduur met behoud van functie.
2. Verlengen gebruiksduur met andere functie.
3. Ter plaatse gestort vervangen door prefab of vice versa.
4. Slankere kolommen toepassen.
5. Toepassen slimme configuratie balken en platen.
6. Reduceren van de lengte van de overspanning.
7. Vervangen gewapend door voorgespannen beton of vice versa.
8. Verhogen betonsterkte.
9. Aanpassen samenstelling van het bindmiddel.
10. Verlagen van het bindmiddelgehalte.
11. Vervanging primair door secundair toeslagmateriaal.
12. Optimaliseren nabehandeling.
13. Verlengen ontkistingstijden.
14. Toepassen rekenwaarde sterkte na 56-91 dagen.
15. Toepassen betonkernactivering.
16. Verbeteren hergebruik na ontmanteling/sloop.

In fase B zijn deze basisopties nader beoordeeld door de effecten van deze basisopties op een viertal cases te kwantificeren.

Op basis van de uitwerking van de vier cases, te weten een straatsteen, een woning, een parkeergarage en een viaduct, kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

De volgende basisopties zijn in principe altijd zinvol om de CFP en MKI te verlagen:

- Het verlengen van de gebruiksduur (basisoptie 1 en 2). Een verdubbeling van de levensduur is positief, maar betekent niet altijd een halvering van de CO₂ emissie. Voor de case met de betonnen bestrating betekent het bijvoorbeeld een reductie van 30% in plaats van 50%, veroorzaakt door het opnieuw leggen van de bestrating en extra transport. Indien de functionele eisen van bijvoorbeeld een gebouw (bijvoorbeeld bij herbestemming) veranderen, kunnen extra aanpassingen noodzakelijk zijn, die het positieve effect verminderen.
- Aanpassing van de samenstelling van het bindmiddel (basisoptie 9, 12 en 13). Dit kan in een deel van de gevallen niet los gezien worden van optimaliseren van nabehandeling (zoals warme gietbouw in plaats van koude gietbouw) en later ontkisten al dan niet met een lagere ontkistingssterkte. Het tegen het licht houden van de minimale ontkistingssterkte verdient daarom aanbeveling. De aanpassing van het bindmiddel heeft met name betrekking op reductie van het klinkeraandeel ten gunste van materialen als hoogovenslak en poederkoolvliegias. Uiteraard past ook het verlagen van het bindmiddelgehalte (basisoptie 10) hier in
- Het verschuiven van de rekenwaarde van de betonsterkte (basisoptie 14) van 28 dagen naar bijvoorbeeld 56 of 91 dagen. Dit biedt perspectief voor het verlagen van het bindmiddelgehalte en

het aanpassen van de bindmiddelsamenstelling. De 28-daagse druksterkte is de gangbare grootheid voor het berekenen van betonconstructies. Als de druksterkte waarmee wordt gerekend bijvoorbeeld op 91 dagen wordt bepaald, dient de constructieve veiligheid een aparte beschouwing en evaluatie.

De volgende basisopties kunnen interessant zijn om de CFP en de MKI te verlagen en het verdient daarom de aanbeveling dit per project na te gaan:

- Optimalisatie van de configuratie van balken en betonplaten (basisoptie 5) in de case viaduct biedt perspectief voor besparing.
- Het reduceren van de lengte van de overspanning (basisoptie 6). Hierbij is sprake van een optimum. Het reduceren van de overspanning door extra tussensteunpunten kent een optimum. In de case van het viaduct is 1 tussensteunpunt optimaal.
- Het voordeel van prefab is dat uitgekende ontwerpen mogelijk zijn (basisoptie 3). Daar tegenover staat dat afhankelijk van het type element een snelle ontkistingstijd noodzaak is. Dit betekent in de praktijk dat in dat geval bindmiddelen met een hoog klinkeraandeel gebruikt worden.
- De vervanging van gewapend beton door voorgespannen beton (basisoptie 7) kan aantrekkelijk zijn bij overige identieke constructie. De mate van CO₂ reductie blijkt sterk projectgebonden.

De volgende basisopties zijn in het algemeen niet interessant om de CFP en de MKI te verlagen:

- Het gebruik van slankere kolommen om minder beton te gebruiken (basisoptie 4) wordt teniet gedaan door de extra wapening en de aanpassing van de samenstelling om de hogere druksterkte te verkrijgen.
- Het vervangen van primair toeslagmateriaal door secundair toeslagmateriaal (basisoptie 11). Niet in deze berekening meegenomen zijn het effect van landgebruik en het streven naar een gesloten kringloop in het kader van een circulaire economie.

Opmerking: basisoptie 16 is niet meegenomen in de studie.

Stufib-rapport 25

Ontwerpen van Integraalbruggen met prefab liggers

Stufib studiecel 24

Rogier van Vught (voorzitter)

Laurens Bouvy (secretaris)

Nynke ter Heide (rapporteur)

Hans Bongers

Albert Rodenhuis

Jan Jouke Eikelboom

Tommy Erdsieck

Willem Gall (mentor)

21 december 2015

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	7
1.1.	Aanleiding voor dit rapport.....	7
1.2.	Doel van dit rapport.....	7
1.3.	Typen integraal bruggen met prefab liggers	8
1.4.	Keuze voor een integraalbrug	9
2.	Literatuurstudie	10
2.1.	Voor- en nadelen van integraalbruggen.....	10
2.2.	Constructieve aspecten	11
2.2.1.	Lengte van de integraalbrug	11
2.2.2.	Invloed van de integratie dek-landhoofd op de brugcomponenten	11
2.3.	Praktijkervaringen buitenland	13
2.4.	Praktijkervaringen binnenland	14
3.	Ontwerpproces.....	16
3.1.	Schematisatie ontwerpproces	16
3.2.	Deelnemers aan het ontwerpproces	16
3.3.	Betrokkenen bij het ontwerpproces	17
3.4.	Organisatie ontwerpproces.....	17
3.4.1.	Opstarten van het ontwerp.....	17
3.4.2.	Mate van afstemming in het ontwerpproces.....	18
4.	Belastingen en belastingcombinaties	21
4.1.	Belastingen en opgelegde vervormingen	21
4.1.1.	Eigen gewicht en voorspanning	21
4.1.2.	Verkeersbelasting.....	21
4.1.3.	Krimp	21
4.1.4.	Temperatuur	22
4.1.5.	Zettingverschil	23
4.2.	Interactie met grond.....	23
4.2.1.	Actieve, neutrale en passieve gronddruk	23
4.2.2.	Opspaneffect.....	24
4.2.3.	Grond als belasting	25
4.2.4.	Grond als weerstand.....	26
4.2.5.	Interactie met grond bij scheve kruisingen	27
4.3.	Belastingcombinaties.....	29
5.	Modellering	33
5.1.	Aanpak	33
5.2.	Schematisering fundatie.....	33
5.2.1.	Fundatie op palen.....	33
5.2.2.	Fundatie op staal	35
5.2.3.	Damwanden en combiwanden.....	36
5.3.	Schematisering onderbouw	39
5.4.	Schematisering bovenbouw	40
5.5.	Vereenvoudigde methodes t.b.v. voorontwerp	44
5.5.1.	Interactie met grond	45
5.5.2.	Constructiehoogte bovenbouw	45

5.5.3.	Verhinderde vervorming door krimp en kruip en temperatuur	45
5.5.4.	Vereenvoudiging interactie onder- en bovenbouw	46
6.	Detaillering.....	47
6.1.	Integrale verbinding dek en landhoofd	47
6.2.	Dikte druklaag	48
6.3.	Oplegdetail	48
6.4.	Semi-integraal verbinding.....	49
6.5.	Tussensteunpunten	50
6.6.	Aansluiting paalfundatie met het landhoofd	50
6.7.	Aanvulling achter het landhoofd	52
6.8.	Overgangsconstructies	52
Literatuur		55
Bijlage I	Praktijkvoorbeelden.....	56
	Viaduct over de Rotte (KW 18A).....	57
	Onderdoorgang Noordelijke Dwarsweg (KW 26A).....	58
	Ecoducten Bunderbosch en Kalverbosch.....	59
	Viaducten in N421 over parallelweg A12 (KW5 en KW6).....	60
	Viaduct in A74 (KW2)	61
	Viaducten in de N33	62
	Viaduct N279	64
	Brug Generaal Maczeklaan.....	65

Samenvatting

Bij een integraalbrug wordt het rijdek constructief gekoppeld aan de onderbouw. Het voordeel is dat geen voegovergangen en oplegblokken meer nodig zijn, waardoor kosten bespaard worden in de onderhoud- en beheerfase en de hinder voor het wegverkeer verminderd wordt. Door het dek op te bouwen uit prefab liggers kan de constructie snel gebouwd worden en wordt de hinder voor het wegverkeer ook in de bouwphase verminderd. Vanwege de statisch onbepaaldheid van de constructie, de complexe interactie met grond en de gedeelde ontwerpactiviteiten, is het ontwerpen van een integraalbrug met prefab liggers wel een complex samenspel tussen de verschillende ontwerpende partijen. In dit rapport worden aanbevelingen gedaan om te komen tot een eenduidige aanpak en wordt duidelijkheid verschaft over de wisselwerking tussen de verschillende ontwerpende partijen.

Om te beginnen is het van belang om goede afspraken te maken aan het begin van het ontwerpproces. Duidelijk moet zijn wat de taakverdeling is tussen de verschillende ontwerpers, welke aanpak en modellering wordt gekozen en wanneer en op welke wijze informatie wordt uitgewisseld. Geadviseerd wordt altijd een hoofdconstructeur aan te wijzen die het ontwerpproces coördineert en het overzicht houdt over de constructie als geheel.

De belastingen die op een integraalbrug werken, zijn in basis niet anders dan bij een niet-integraalbrug. Door de integrale verbinding werken belastingen wel verder door. Zo is bijvoorbeeld vermoeiing door wisselende verkeersbelasting niet alleen van belang voor het dek, maar ook van invloed op de verbinding tussen het dek en het landhoofd en mogelijk het landhoofd zelf. Wat ook specifiek voor integraalbruggen geldt, is dat het statische systeem na het maken van de integrale verbinding wijzigt en de krachtswerking in de loop van de tijd hierdoor verandert. Een ander onderwerp dat aandacht vraagt is de interactie met grond. Door het ontbreken van voegovergangen worden de vervormingen van de constructie overgebracht op de grond. Complex maakt dat voor de integraalbrug grond een belasting is, maar ook weerstand biedt. Een ander belangrijk aspect van de interactie met grond is het opspaneffect, waarbij de grond achter de landhoofden steeds stijver gaat reageren door herhaaldelijk verkorten en uitzetten van de constructie onder invloed van de jaarlijkse temperatuurwisselingen.

Voor het ontwerp van een integraalbrug met prefab liggers kan gekozen worden om de hoofdconstructeur de constructie als geheel 3D te laten modelleren. De prefab leverancier levert informatie over de stijfheid van het dek, met orthotrope eigenschappen indien van toepassing. De geotechnisch adviseur levert de informatie over de stijfheid van de grond tegen het landhoofd en de fundatie. Vereenvoudigde modellen zijn ook mogelijk door de constructie als 2D model te beschouwen, of door niet de gehele constructie in één model op te nemen. In de afzonderlijke modellen wordt de invloed van de overige delen gemodelleerd met veren. De veerwaarden in de losse modellen moeten dan door iteratie op elkaar worden afgestemd.

Detailering, met name van de verbindingen, is een belangrijk aspect bij het ontwerp van een integraalbrug. Geadviseerd wordt met name de momentvaste knoop tussen dek en onderbouw al in een vroeg stadium te beschouwen. Gecontroleerd moet worden of er voldoende ruimte is in de knoop om de overlappingslassen te maken zonder dat het plaatsen van de liggers belemmerd wordt. Verder wordt aanbevolen bij integraalbruggen de dikte van de druklaag vooral niet te klein te kiezen, omdat er voldoende ruimte moet zijn om de steunpuntswaapening aan te brengen. Tot slot vragen ook de overgangsconstructies aandacht, omdat hiervoor bij integraalbruggen speciale oplossingen nodig kunnen zijn.