

Een montagemethode van betonnen gevelelementen : een stel- en verankeringsconstructie in een praktijksituatie bouwmetrologisch en uitvoeringstechnisch getoetst

Citation for published version (APA):

Brokelman, L., Hoof, van, P. A. J., Flapper, H. A. J., & Knol, J. J. (1979). *Een montagemethode van betonnen gevelelementen : een stel- en verankeringsconstructie in een praktijksituatie bouwmetrologisch en uitvoeringstechnisch getoetst*. (Stichting Bouwresearch : rapport studiec commissie B; Vol. B37/01). Stichting Bouwresearch.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1979

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

RAJ
68
SBR

Een montagemethode van betonnen gevelelementen

M041168

en stel- en verankeringsconstructie in een
praktijksituatie bouwmetrologisch en
uitvoeringstechnisch getoetst

B 37-1



Stichting Bouwresearch

Een montagemethode van betonnen gevelelementen

Een stel- en verankeringsconstructie in een
praktijksituatie bouwmetrologisch en
uitvoeringstechnisch getoetst

B 37-1

Rotterdam, 1979



Stichting Bouwresearch

Het doel van de Stichting is het coördineren, stimuleren en begeleiden van speurwerk op het gebied van de bouwvoorbereiding, de bouwtechniek en bedrijfstechniek in de bouwnijverheid, alsmede de verbreiding van de resultaten daarvan, zowel ten behoeve van de opleiding als tot de vorming van kennis bij het bouwen.

De Stichting verstrekt opdrachten aan researchinstituten; zij vormt stuurgroepen en studieverenigingen voor onderwerpen die zij in opdracht geeft.

De Stichting en degenen die aan deze publikatie hebben medegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in deze publikatie vervatte gegevens. Nochtans moet niet worden uitgesloten de mogelijkheid dat zich toch onjuistheden in deze publikatie zouden bevinden. Degene die van deze publikatie gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. De Stichting sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publikatie hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze gegevens.

INHOUD

WOORD VOORAF	5
SAMENVATTING	9
SUMMARY	13
1 DE PRAKTIJK	17
1.1 Enkele situaties	17
1.2 Verbetering wenselijk	18
1.3 Een algemene verkenning	19
1.4 Operationele uitgangspunten	20
2 ONTWERP	23
2.1 Het gebouw en de gevel	23
2.2 De gevelelementen	25
2.3 Verbinding van de elementen aan het skelet	26
2.4 De afdrukconstructie	33
3 UITVOERING	37
3.1 Productie van de gevelelementen	37
3.1.1 De mal	37
3.1.2 De elementen: vorm- en matekwaliteit	39
3.2 Montage	42
3.2.1 Voorbereiding	42
3.2.2 Plaatsen en stellen	43
3.3 Uitrichten van de gevel	43
3.3.1 Werkwijze	43
3.3.2 X-richting (horizontaal, evenwijdig aan de gevel)	44
3.3.3 IJ-richting (loodrecht op de gevel)	46
3.3.4 Z-richting (loodrecht, evenwijdig aan de gevel)	50
3.4 Evaluatie	53
4 RELATIE STELMETHODE - NAUWKEURIGHEID	59
4.1 Inleiding	59
4.2 Voeg tussen twee elementen	59
4.3 Vertikale voegstap	64
4.4 Voeg tussen element en aluminium gevelpui	65
4.5 Scheluwte, kromming en scheefstand	71
4.6 Eindconclusie	72

BIJLAGEN

1	De elementen, vorm- en matekwaliteit	73
2	De meetresultaten van het uitrichten van de gevel	75
3	Relatie stelmethode - voegbreedte	77
4	Voegbreedte onderzijde element	81
5	Vertikale voegstap onderzijde elementen	83
6	Scheluwte	85
7	Kromming	89
8	Scheefstand	91
9	Scheluwte, kromming, scheefstand	93
10	Voeg element - pui	95

WOORD VOORAF

Met grote waardering zien wij regelmatig dat velen - van verschillende disciplines - in studieverenigingen van de Stichting Bouwresearch zich bezighouden met een grote verscheidenheid van problemen van ons mooie bouwvak. De totaliteit van het aantal bovengenoemde studie-uren moge indrukwekkend zijn, het zal slechts een klein percentage zijn van het gepieker, het uitdenken, het studeren wat op zeer veel werken plaatsvindt om de taak waarvoor men gesteld is, op tijd en zo goed mogelijk af te ronden. En uiteraard maakt men dikwijls weer dezelfde fout als collega X op bouwwerk Y.; tenzij er meer geregistreerd en gepubliceerd wordt en daarmee de verworven kennis ook voor anderen ter beschikking komt. Een bouwbedrijf dat zelf een nieuwe werkmethode ontwikkelt, beschikt vaak niet over alle kennisgebieden die voor de oplossing nodig zijn. Bij de in samenwerking met de ontwerper, de betonwarenfabrikant en het uitvoerende bouwbedrijf ontwikkelde montagemethode voor gevelelementen, die in dit rapport wordt beschreven, was dat de bouwmetrologie. Daarom moesten op dit werk de te verwachten maatafwijkingen worden geschat.

Als tijdens de uitvoering blijkt dat een nieuw ontwikkelde werkmethode niet goed functioneert, is het vaak niet meer mogelijk om de werkmethode tijdens het werk ingrijpend aan te passen. Een bouwbedrijf doet vaak ook te weinig aan een diepgaande evaluatie van de resultaten, omdat de gegevens hiervoor meestal pas na de afloop van het werk beschikbaar zijn. De opgedane kennis en ervaring gaan meestal gedeeltelijk verloren, ook omdat niet altijd een volgend werk beschikbaar is om een verbetering van de werkmethode direct weer toe te kunnen passen.

Ons bedrijf heeft tijdens de uitvoering van de hierna beschreven montagemethode contact gezocht met de Stichting Bouwresearch om de opgedane ervaringen bouwmetrologisch te onderzoeken en de ontwikkelde montagemethode met gebruikmaking van de onderzoekresultaten te verbeteren en algemeen toepasbaar te maken voor andere projecten.

Uit dit onderzoek blijkt, dat de maatafwijkingen anders en veel gecompliceerder waren dan we hadden verwacht. Als we de nu beschikbare bouwmetrologische kennis van tevoren bij de ontwikkeling van de montagemethode hadden kunnen inbrengen was het resultaat veel gunstiger geweest.

De maattoleranties van de elementen en de stelmethode hadden tevoren vastgelegd kunnen zijn.

Voor de maatvoering had een aangepaste methode uitgewerkt kunnen zijn, waardoor het nastellen voorkomen had kunnen worden.

Hoewel de mogelijke kostenbesparingen bij dit onderzoek nog onvoldoende onderzocht zijn, menen we dat een stap in de goede richting is gezet.

Door de samenwerking met de Stichting Bouwresearch is een meer wetenschappelijk onderzoek mogelijk geweest, waarvan nu ook andere bedrijven gebruik kunnen maken.

Wij werkten graag mee in de eerste plaats uit respect voor het vele werk van de Stichting Bouwresearch, doch op de tweede plaats in de hoop dat ook andere bedrijven daar een stimulans in zullen vinden om op soortgelijke wijze mee te werken.

Dit alles met als hoofddoel: veiliger te bouwen en een goed kwaliteitsniveau te handhaven.

Venray, 2 februari 1979

L.A. Nelissen .

De in dit rapport beschreven oplossingen werden mede verkregen door een goede samenwerking van J.P.A. Nelissen B.V. met :Centrale directie PTT Afd. Gebouwen - Buro Wiegerinck B.V. - HIBE B.V.

Het onderzoek werd begeleid door de studiecmissie B 37-
-Draaiboek maatvoeren . Deze commissie is als volgt samengesteld:

Ir. P. Erasmus
voorzitter

Technische Hogeschool
Eindhoven

Ing. A.J.M. Blankers

Marcel Muyres B.V.
Sittard

Ir. H.A.L. Boonekamp	Bouwcentrum Rotterdam
H.A.J. Flapper	J.P.A. Nelissen B.V. Venray
Ir. J.J. Knol	Ingenieursbureau Passe-Partout Gouda
S. Miezenbeek	Ahrin B.V. Rijswijk
C.P. Verschuren	Stichting Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid Ede
Ing. W.G. Visser	Hollandsche Beton Maatschappij Rijswijk
Ir. A. Rip secretaris	Stichting Bouwresearch Rotterdam

Het onderzoek werd uitgevoerd door:

Ir. P. van Hoof rapporteur	Technische Hogeschool Eindhoven
H.A.J. Flapper rapporteur	J.P.A. Nelissen Venray
Ir. J.J. Knol rapporteur	Ingenieursbureau Passe-Partout Gouda
Ing. L. Brokelman eindrapporteur	Stichting Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid Ede

De bouwmetrologische metingen werden uitgevoerd door de Geo-Meetdienst te Spakenburg.

SAMENVATTING

Bij toepassing van geprefabriceerde betonnen gevelelementen is het gebruikelijk:

- Dat men wel rekening houdt met de dimensionele afwijkingen van de elementen en het skelet, maar men de samenhang niet begrijpt;
- Dat men denkt, dat de aanvoer van de elementen niet zodanig is te regelen, dat montage vanaf de wagen mogelijk is en dientengevolge een tussenopslag noodzakelijk is;
- Dat men vindt, dat de slobgaten in de bevestigingsmiddelen niet groot genoeg kunnen zijn, gezien de afwijkingen in de elementen en het skelet;
- Dat men incalculeert, dat een aantal elementen wel niet zal passen;
- Dat alle elementen moeten worden nagesteld.

Het is een bekend feit, dat het stellen van gevelelementen veel kraantijd en veel steluren vraagt. In het licht van het bovenstaande wordt dit wel begrijpelijk. Passingsproblemen brengen vaak met zich mee, dat elementen of bevestigingsmiddelen vervangen moeten worden, hetgeen nogeens extra kosten aan arbeidstijd en bouwtijd betekent.

Een bouwbedrijf heeft bij een utiliteitsproject geprobeerd het montageprobleem van geprefabriceerde betonnen gevelelementen te analyseren. Het doel was een montagemethode te ontwikkelen om het stellen van de elementen te vereenvoudigen en de nare gevolgen van maat- en vormafwijkingen van de elementen en het skelet te vermijden of te verminderen. Om dit te kunnen bereiken, heeft men een aantal uitgangspunten geformuleerd.

De belangrijkste zijn:

- Ontkoppelen van verankeringsconstructie en stelconstructie;
- Stelconstructie pas aanbrengen, nadat het skelet gereed is (volgens het principe van het vooraf maatvoeren).

In het kort gezegd is men als volgt te werk gegaan: Allereerst zijn de te verwachten maatafwijkingen van de elementen geanalyseerd in relatie tot de malopbouw. Toelaatbare maatafwijkingen werden vastgesteld, gebaseerd op zowel esthetische overwegingen, als met betrekking tot de aansluiting van de elementen met de aluminium gevelpuien. Op basis van de bevestigingsmogelijkheden is een aparte stelconstructie en een aparte verankeringsconstructie ontworpen. De stelconstructie is in staal ontworpen en uitgevoerd: nauwkeurig instelbaar. De verankeringsconstructie in beton: corrosievrij. De invloed van afwijkingen is verminderd door onder andere de montage-techniek af te stemmen op de esthetisch en technisch kritische eisen. Maatafwijkingen van het skelet zijn ondervangen door pas na het verharden van de vloer hierop stelplaten aan te brengen. (Tussenopslag van de elementen kon door een goed toegepast afroep-schema worden voorkomen).

Uitgangspunt voor de montage was het hiervoor genoemde bevestigen en afstellen van de stelplaten op de verharde vloeren. De elementen zouden dan rechtstreeks vanaf de wagen (in de hoogte-richting loodrecht op de gevel) op hun plaats worden gezet. Alleen voor de gelijkmatige verdeling van de beschikbare ruimte over de voegen en het in het verticale vlak kantelen van de elementen zou nastellen noodzakelijk zijn.

Het uitgangspunt: niet behoeven na te stellen, is niet bereikt. Tijdens de uitvoering bleek dat:

- door de wijze van opstapelen van de elementen op het fabrieksterrein, de scheluwte van de elementen groter was dan verwacht;
- de stelplaten niet op hun plaats bleven. De platen werden ten gevolge van het plaatsen van de elementen excentrisch ten opzichte van het bevestigingspunt belast en draaiden daardoor om de bevestigingsbout weg.

Alle elementen moesten dan ook helaas nagesteld worden. Desondanks vroeg het plaatsen van de elementen met behulp van de kraan maar 7 minuten.

De ontwikkelde montagemethode bleek toch zo effectief, dat het direct op de plaats aan de gevel hangen van elementen minder arbeidstijd vroeg dan die via een tussenopslag op het bouwterrein.

Tijdens de uitvoering zijn door bouwmetrologen de elementen in de opslag gemeten. Ook de plaats van de elementen aan de gevel na het plaatsen en na het nastellen is gemeten. Zo ook maatafwijkingen van het skelet en de plaats van de stelplaten.

Als conclusies kwamen daaruit naar voren:

- Door het ontbreken van een goede maatvoeringsinstructie waren de stelplaten niet nauwkeurig genoeg op de verharde vloeren aangebracht;
- De scheluwte van de elementen was te groot omdat de elementen direct uit de mal op elkaar waren gestapeld en het gewicht van de elementen en de dikteverschillen van zowel de elementen als het stophout aanleiding tot afwijkingen gaven;
- De stellers hadden (hebben) onvoldoende inzicht in de samenhang van afwijkingen van scheluwte, voegbreedte, voegstappen en de scheefstand van elementen.

Uit de meetresultaten hebben bouwmetrologen de invloeden van afwijkingen berekend. Daaruit concludeerden zij:

- Dat ondanks al het arbeidsintensieve nastellen - op de gebruikelijke wijze - de maatafwijkingen van voegstappen en voegbreedten niet verminderd zijn;
- Dat de afwijkingen van scheluwte, voegbreedte, kromming en scheefstand zo gecompliceerd samenhangen, dat het corrigeren van één van deze afwijkingen altijd extra afwijkingen geeft: afwijkingen in de richting horizontaal evenwijdig aan de gevel, of in de richting loodrecht op de gevel, of in de richting loodrecht evenwijdig aan de gevel.

Zou de beschreven montagemethode niet toegepast zijn, dan zou de totale arbeidstijd circa 9 mu per element hebben bedragen (plaatsen, stellen, aangieten elementen en met tussenopslag). Nu bleek echter slechts 6,5 mu per element nodig zijn.

Verwacht mag worden, dat het nastellen overbodig wordt indien het monteren bouwmetrologisch goed wordt voorbereid. In dat geval is te verwachten dat de arbeidstijd tot 4 mu per element teruggebracht kan worden. In het onderstaande zijn de kosten berekend:

Geen aangepaste montagemethode:

588 elem. x 9 mu x f 25,-- = f 132.300,--

Toegepaste montagemethode:

588 elem. x $6\frac{1}{2}$ mu x f 25,-- = f 95.550,--

Toegepaste montagemethode plus bouwmetrologische voorbereiding:

588 elem. x 4 mu x f 25,-- = f 85.800,--

De kraancapaciteit is van grote invloed op de productiesnelheid en dus op de bouwtijd. Dit geldt in het bijzonder bij hoogbouw. De kraancyclus bedroeg 7 min per element. Dat is ongeveer een kwart van de kraancyclustijd bij gebruikelijke montagemethoden, waar vaak voor een tussenopslag wordt gekozen en waar bovendien de kraan het element pas kan loslaten nadat het element is bevestigd.

De hier toegepaste montagemethode blijkt in principe een goede methode te zijn. De methode zou echter met nog meer succes kunnen worden toegepast, als bij de werkvoorbereiding de kennis van een bouwmetroloog wordt ingebracht. Deze zou zich dan moeten bezighouden met:

- Een analyse van de kritische passingen en het vaststellen van toelaatbare maatafwijkingen;
- Het maken van tolerantieberekeningen voor mallen en gevel-elementen;
- Het maken van maatvoeringsinstructies (bijv. voor de stelplaat en het plaatsen en stellen van de elementen).

SUMMARY

A method for the erection of concrete cladding units

The use of precast concrete cladding units for buildings is usually characterized by the following features:

- The dimensional deviations of the units and the structural frame of the building are indeed taken into account, but their interrelation is not properly understood;
- It is presumed that the rate of delivery of the units to the building site cannot be so controlled as to allow erection straight off the vehicle and that therefore intermediate storage is essential;
- It is considered that the slots in the connecting devices cannot be large enough in view of the deviations in the members of the frame;
- The probability that a number of units will not fit is taken into account in costing the job;
- It is presumed that all the units will have to be readjusted.

It is a well-known fact that the setting and adjusting of cladding units require a considerable amount of crane time and many man-hours. In view of the points stated above, this is understandable. Problems of fit often result in units or connecting devices having to be replaced by others, which again means extra expense in terms of job time and man-hours.

In connection with an industrial building construction project, one contractors' firm made an attempt to analyse the problem of erecting precast concrete cladding units. The object was to develop an erection method that would simplify the accurate positioning and adjustment of the units and obviate, or at least reduce, the objectionable consequences of dimensional and shape deviations of the units and the frame. For this purpose a number of basic principles were formulated, the most important of these being:

- Decoupling the anchorage system from the adjusting system;
- Installing the adjusting system only after completion of the structural frame (in accordance with the principle of setting-out in advance).

In brief, the following procedure was adopted:

First, the expected dimensional deviations of the units and members were analysed in relation to the construction of the template. Permissible dimensional deviations were specified, based both on aesthetic considerations and on the need to connect the units to the aluminium spandrel panels.

On the basis of the fixing possibilities a separate adjusting system and a separate anchorage system were designed. The adjusting system was steel constructed and allowed accurate setting. The anchorage construction was of concrete and therefore non-corroding. The effect of deviations was reduced by, inter alia, suitably gearing the erection technique to the aesthetically and technically critical requirements. Dimensional deviations of the frame were compensated by fixing adjusting plates to the floors only after the concrete of the latter had hardened. (Intermediate storage of the units was avoided by the adoption of a carefully scheduled scheme for delivery on call).

The starting point of the erection operations consisted in fixing and correctly setting the adjusting plates on the hardened floors, as mentioned above. The precast concrete units could then be erected directly from the vehicle (vertically at right angles to the façade). Readjustment would be required only for uniformly distributing the available space in the joints and for tilting the units in the vertical plane.

The primary aim of not having to readjust the units was not in fact attained. During execution of the work it was found that:

- As a result of the manner of stacking the units in the factory yard, the skew of the units was greater than had been expected;
- The adjusting plates did not remain accurately positioned: in consequence of the placing of the units the plates were loaded eccentrically in relation to the point of attachment and therefore swivelled away around the fixing bolt.

Unfortunately, it was therefore found necessary to carry out a readjustment of all units. Nevertheless, erecting each unit with the aid of the crane took only 7 minutes.

All in all, the erection method developed for this job proved to be so effective, that installing the units directly in position on the façade of the building occupied less working time than did erection via intermediate storage of the units on the building site.

During construction, metrologists measured the cladding units in the storage yard. The dimensional positioning of the units on the façade, after erection and adjustment, was also checked. Measurements for determining the dimensional deviations of the structural frame and of the positions of the adjusting plates were also carried out.

The following results emerged:

- Because of the absence of proper instruction of the men on the job in setting-out, the adjusting plates had not been installed with sufficient accuracy on the hardened floors;
- The skew of the units was too great because they had been stacked one upon the other direct from the mould and because their weight and the difference in thickness of the units as well as of the spacing battens caused dimensional deviations;
- The erectors/adjusters had (or have) insufficient insight into the interrelation of skew, joint width, differences in level at joint edges, and the tilting of units.

From the results of the measurements, the metrologists calculated the effects of deviations. They arrived at the following conclusions:

- Despite all the labour-intensive readjustment work - in the usual way - the dimensional deviations and differences in level of adjacent joint edges ('stepping') were not reduced;
- The deviations in skew, joint width, curvature and tilting are so complex that the correction of any one of these deviations always causes additional deviations, namely, deviations in the direction perpendicular to the façade or horizontally parallel to the façade or perpendicularly parallel to the façade.

If the method of erection described here had not been applied, the total working time per unit would have been about 9 minutes (placing, adjusting, grouting the units, intermediate storage manipulations).

Now, on the other hand, the time required was 6.5 minutes per unit. It is to be expected, that readjustment operations will become unnecessary if erection is properly prepared from the metrological point of view. In that case the working time can very probably be cut down to 4 minutes per unit. Here follow some comparative cost figures:

Conventional erection method:

588 units x 9 manhours x f 25,— = f 132.300,—

Erection method as envisaged here:

588 units x $6\frac{1}{2}$ manhours x f 25,— = f 95.550,—

Erection method as envisaged here and with proper metrological preparation:

588 units x 4 manhours x f 25,— = f 85.800,—

The handling capacity of the crane is of major influence upon output and therefore upon building time. This is mor particularly true of high-rise building construction. The crane operating cycle on this job was 7 minutes per unit, i.e., about a quarter of the crane cycle time in conventional erection methods often involving intermediate storage and moreover requiring that the unit cannot be disconnected from the crane until the unit has been secured in position.

The erection method described here can in principle be rated a good method, but it could be even more successfully employed if the expert knowledge of a metrologist was applied in preparing the job. He would more particularly be concerned with:

- Performing an analysis of the critical fits and ascertaining the permissible dimensional deviations;
- Carrying out tolerance calculations for template and cladding units;
- Drawing up setting-out instructions (e.g., for the adjusting plates and for positioning and adjusting the cladding units).

1 DE PRAKTIJK

1.1 Enkele situaties

Het monteren van betonnen gevelelementen leert:

- indien een gevelelement met bouten wordt vastgezet, vraagt de montage (onevenredig) veel kraantijd. Dit komt omdat de kraan veelal het element niet direct na het plaatsen kan loslaten.

Oorzaak: passingsproblemen bij de bevestigingen die pas zichtbaar worden als het element wordt ingehangen;

- door het vooraf aanbrengen van oplegblokjes (bijv. tegeltjes) ten behoeve van de hoogte-afstelling tussen element en skelet ter plaatse van het oplegvlak wordt de behoefte aan hoogte-afstelling van de elementen niet weggenomen.

Oorzaak: de plaats van het oplegvlak van de elementen vertoont grote maatafwijkingen ten opzichte van de maatgevende vlakken;

- het afmonteren van een zwaar element vraagt nog veel tijd, nadat het geplaatst is.

Oorzaak: het grote gewicht van het element en de moeilijke aangrijpingspunten voor het stelgereedschap belemmeren het nastellen.

Verder kan worden geconstateerd:

- In verband met de kans op corrosie van staal worden aan dragende en in staal uitgevoerde bevestigingen hoge eisen gesteld. Uit het oogpunt van veiligheid is een verbinding uitgevoerd in beton gunstig, maar voor het afstellen van de elementen is een daartoe ingerichte verbinding uitgevoerd in staal te prefereren;
- In het skelet ingestorte bevestigingsmiddelen bezitten vaak een grote plaatsafwijking;

- Voor het afstellen van de elementen blijkt, dat het even belangrijk is een tolerantie op te geven voor de aansluitingen (voeg en verankering) als voor de lengte, de breedte en de dikte van die elementen.
- De maatafwijkingen van de elementen die optreden, zijn onder andere afhankelijk van de kwaliteit van de mal. De grootste maatnauwkeurigheid geven de vlakken tegen de malbodem en de vaste maldelen. Demontabele maldelen (bijschotten e.d.) geven een kleinere maatnauwkeurigheid ten gevolge van de speling in de bevestigingen van deze maldelen. De tegenkist geeft door de doorbuiging van de hulpconstructie grotere maatafwijkingen. In de stortvlakken treden de grootste maatafwijkingen op.

Veel van de hier genoemde situaties leiden tot een inefficiënte uitvoering.

1.2 Verbetering wenselijk

Een bouwbedrijf heeft bij een utiliteitsproject geprobeerd het montageprobleem van betonnen gevelelementen te analyseren en een werkmethode te ontwikkelen om het monteren te vereenvoudigen en de risico's van afwijkingen te beheersen. Daartoe werd het zinvol geacht een zodanige verbinding te ontwikkelen, dat de montage-tijd wordt verkort en daardoor de kosten worden verlaagd en de kwaliteit van het resultaat wordt verbeterd.

In tegenstelling tot de vaak gekozen oplossing, waarbij de stel- en verankeringsconstructie worden samengevoegd, bleek het gewenst de stel- en de verankeringsconstructie te ontkoppelen. Daardoor kunnen beide op hun eigen manier functioneren.

1.3 Een algemene verkenning

Bij het samenvoegen van gevelelementen tot gevelconstructies zijn onderscheiden:

- Maat en vorm van gevelelementen, de plaats van de ankers en de sparingen;
- De toleranties met betrekking tot de maat, de vorm en de plaats van de gevelelementen en de sparingen daarin alsmede de voegbreedte tussen de elementen en de plaats van ankers;
- De stel- en verankeringsstechnieken van de gevelelementen.

Tussen deze drie gebieden bestaat een onderlinge samenhang.

Tegen deze achtergrond is de vraag gesteld of het mogelijk is de stel- en verankeringsconstructie zodanig uit te voeren dat daarbij rekening wordt gehouden met bouwtechnische- en uitvoeringstechnische mogelijkheden en wensen. Het antwoord op die vraag houdt tenminste in, dat dan:

- omdat maatafwijkingen van het skelet vaak een orde groter zijn dan die van het element, zodanige oplossingen ontwikkeld worden, dat de maatafwijkingen van het skelet en van het gevelelement apart in de aanslag-vlakken moeten worden opgevangen;
- nagegaan moet worden in hoeverre kritieke passingen de maatafwijkingen van verankeringspunten kunnen opnemen.

Bij de technische uitwerking van bovengenoemde punten kunnen twee kanttekeningen worden geplaatst:

- Kritieke passingen worden binnen het ontwerp bepaald door de gekozen constructie en montagewijze. Een goede analyse kan dan ook slechts door een ontwerptechnische- en uitvoeringstechnische deskundige worden uitgevoerd. Uitgaande van het optimaliseren van passingen worden die aansluitingen opgespoord. Vervolgens wordt getracht door een andere vormgeving en/of detaillering, passingsmoeilijkheden tijdens de uitvoering te vermijden of te verminderen;

- Van invloed op de realisering van de verlangde maatnauwkeurigheid zijn de mal en de uitvoeringstechniek van het draagskelet.

Voor de materiaalkeuze van de stel- en verankeringsconstructie worden de typische kenmerken van staal respectievelijk beton tegen elkaar afgewogen:

- Een uitvoering in staal heeft het voordeel van:
 - betere en verfijnde stelmogelijkheden;
 - vlotter werken;
- Een uitvoering in beton heeft het voordeel van:
 - minder passingsproblemen (verbindingen worden aangegoten);
 - betere bescherming tegen corrosie en brand.

Alle oplossingen dienen echter steeds aan de eisen die het ontwerp en de uitvoering van het gebouw en de gevel stellen te worden getoetst; ontwerp en uitvoering kunnen beperkingen oplegen.

1.4 Operationele uitgangspunten

Om het montageproces van gevelelementen doelmatiger te kunnen laten verlopen en de kwaliteit van het resultaat te verbeteren, zijn de volgende uitgangspunten van belang:

- a Ontkoppelen van verankeringsconstructie (permanente bevestiging) en stelconstructie (-inrichting).
- b Verankeringsconstructie uitvoeren in beton.
- c Stelconstructie uitvoeren in staal.
- d De gewenste maatnauwkeurigheid afstemmen op visuele- en bouwtechnische aspecten en montagecriteria.

- e Een praktische norm vinden voor de esthetische toleranties¹⁾
- f Een maatvaste relatie aanbrengen in de mal tussen de stelpunten en de kritische aansluitpunten van het gevelelement.
- g Rekening houden met de afwijkingen in de mal: zorg dat punten of vlakken die de kleinste tolerantie moeten hebben vallen in de vaste maldelen of in (aangepaste) demontabele maldelen.
- h Stelpunten pas aanbrengen nadat het skelet gereed is en de stelconstructies stellen voordat de (zware) elementen zijn geplaatst (volgens het principe van het vooraf maatvoeren).
- i De kraantijd benodigd voor het plaatsen van van elementen moet tot een minimum worden beperkt. De kraan zou enkel en alleen voor het transport en het plaatsen gebruikt mogen worden. Wachttijden die ontstaan door maatvoering en voor het het maken van tijdelijke bevestigingen zijn uit den boze.

Door de ontwerper van het in par. 2.1 beschreven gebouw zijn voor het verankeren en het stellen van de elementen details voorgesteld. Deze zijn op basis van bovengenoemde uitgangspunten en in samenwerking met de ontwerper en de betonwarenfabrikant door het aannemingsbedrijf aangepast en uitgewerkt.

1) Toelichting:

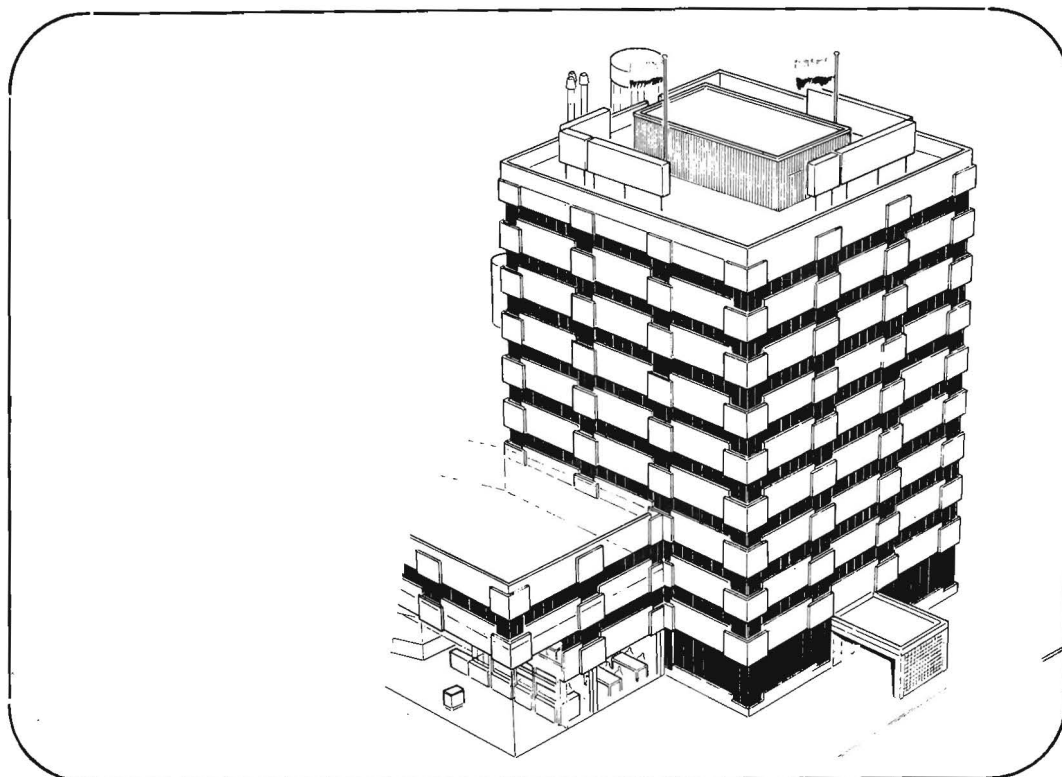
Deze norm wordt onder andere bepaald door:

- De afstand van de aansluiting tot de waarnemer
- De hoeken waaronder de aansluiting gezien wordt
- De vorm van de voeg
- De mate waarin de samenstellende delen qua kleur ten opzichte van elkaar afsteken
- De waarnemers voor wie het element of een onderdeel in het zicht komt.

2 ONTWERP

2.1 Het gebouw en de gevel

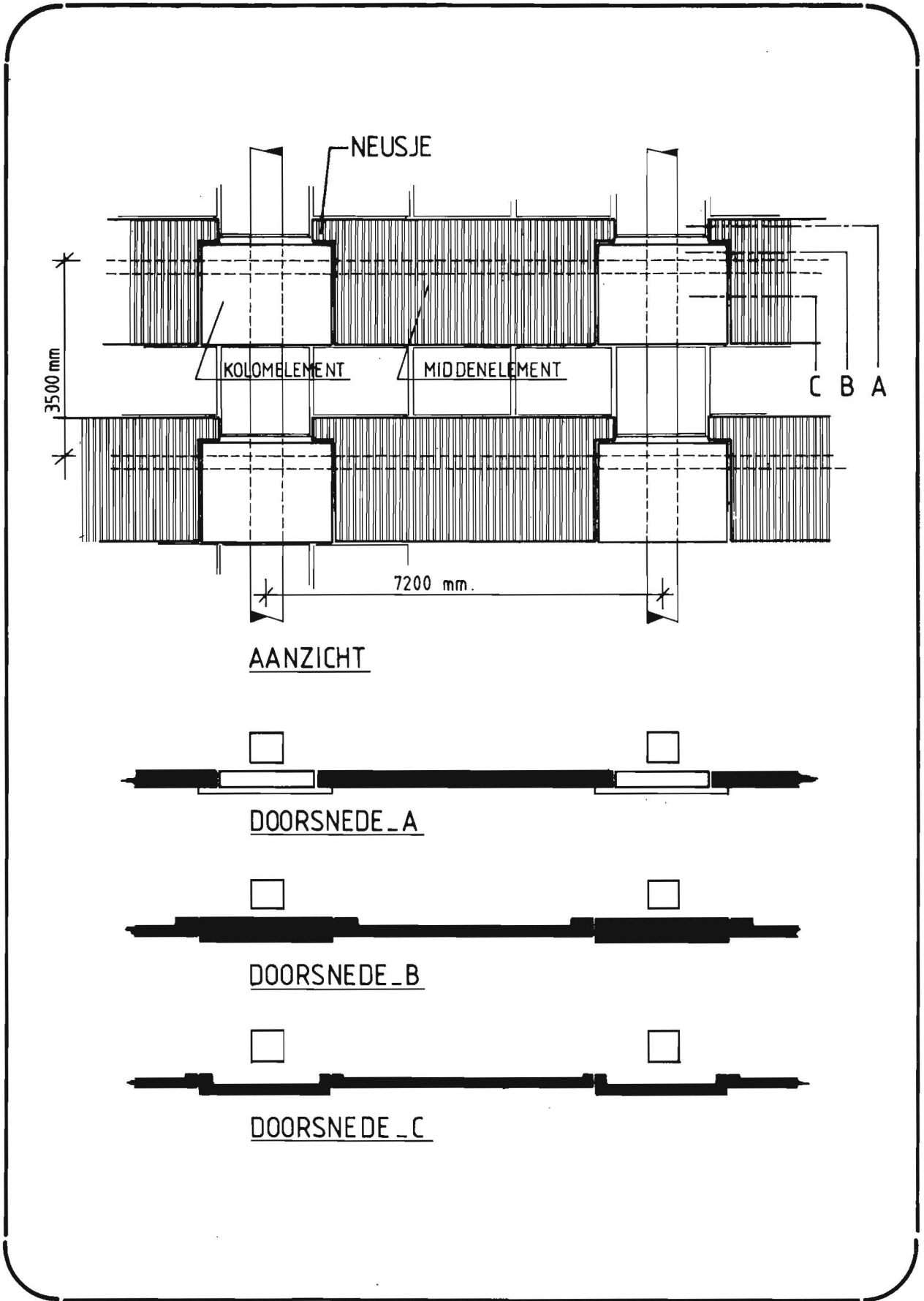
Figuur 1 geeft een schets van het bouwwerk waar deze studie is uitgevoerd. De studie is gericht op de gevelelementen van de hoogbouw. De draagconstructie bestaat uit ter plaatse gestorte vloeren en kolommen.



1

Perspectief van het gebouw (Perspective view of the building)

In afwijking van de gevelopdeling waar elementen van kolom tot kolom doorlopen, is hier gekozen voor een kolomelement en een (groot) middenelement. Hierdoor en door de speciale vormgeving van de elementen (vertanding) bezit de gevel een eigen karakter. De structuur van de gevel (dikte en vormverschillen van de elementen) diende zodanig te zijn, dat het gebouw, zelfs als het enigzins vervuild is, deze vervuiling verdraagt.



2

Gevelfragment (Portion of facade)

In figuur 2 is een fragment van de gevel uitgetekend. Tussen de elementen worden aluminium puien aangebracht. Door de vormgeving van de middenelementen – de beide neusjes – moeten de kolomelementen eerst worden gemonteerd.

2.2 De gevelelementen

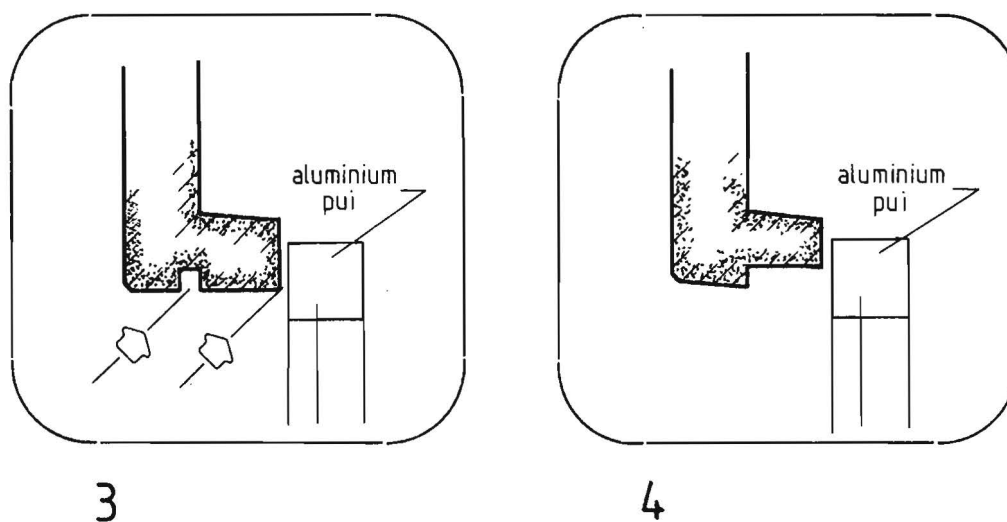
In overleg met de ontwerper van het gebouw werd bepaald, dat:

- afwijkingen in de lengte de breedte en de dikte van de elementen niet waarneembaar zijn;
- wisselingen van elementranden niet in het oog mogen springen;
- een en ander beoordeeld wordt op basis van de afstand van de waarnemer tot de elementen. Deze afstand varieert tussen de 3 en 30 m met uitzondering van de elementen op de begane grond.

Deze uitgangspunten zijn met behulp van getalswaarden niet geobjectiveerd. Ook zijn onderscheiden een esthetische, een technisch gewenste en een economisch haalbare maatnauwkeurigheid van de elementen.

De sterk horizontale geleiding van de gevel, de onderbreking van de borstweringen door raamstroken en het hoogteverschil (vertanding) in de kolom- en middenelementen betekent dat alleen maatafwijkingen opvallen bij de doorgaande horizontale lijnen over het waterhol en de onderhoeken van de elementen bij de raamstroken (figuur 3). Daarbij komt dat de rand van het element, die aansluit op de aluminium pui, de overgang vormt van zijschotten van de mal en stortzijde. Bij het ontkisten – maar ook ten gevolge van stoten – brokkelen dergelijke randen af. Deze zijn vaak lichter van kleur en vallen te meer op, omdat zij afsteken tegen de donker gemoffelde profielen van de aluminium puien. Dit geldt eveneens voor maatafwijkingen ter plaatse.

Door het waterhol nu als open sponning uit te voeren, vervallen voornoemde bezwaren (figuur 4). Het afschuiven van de onderhoek heeft daarbij als voordeel, dat de randkist van de mal als vast maldeel kan worden uitgevoerd (in par. 3.1 wordt hierop nader ingegaan). Verder wordt nog opgemerkt, dat de aansluiting element - pui door schaduwwerking en de hoek waaronder men de aansluiting waarneemt aan het oog kan worden onttrokken.



3 Oorspronkelijk detail

(Original detail)

4 Aangepast detail

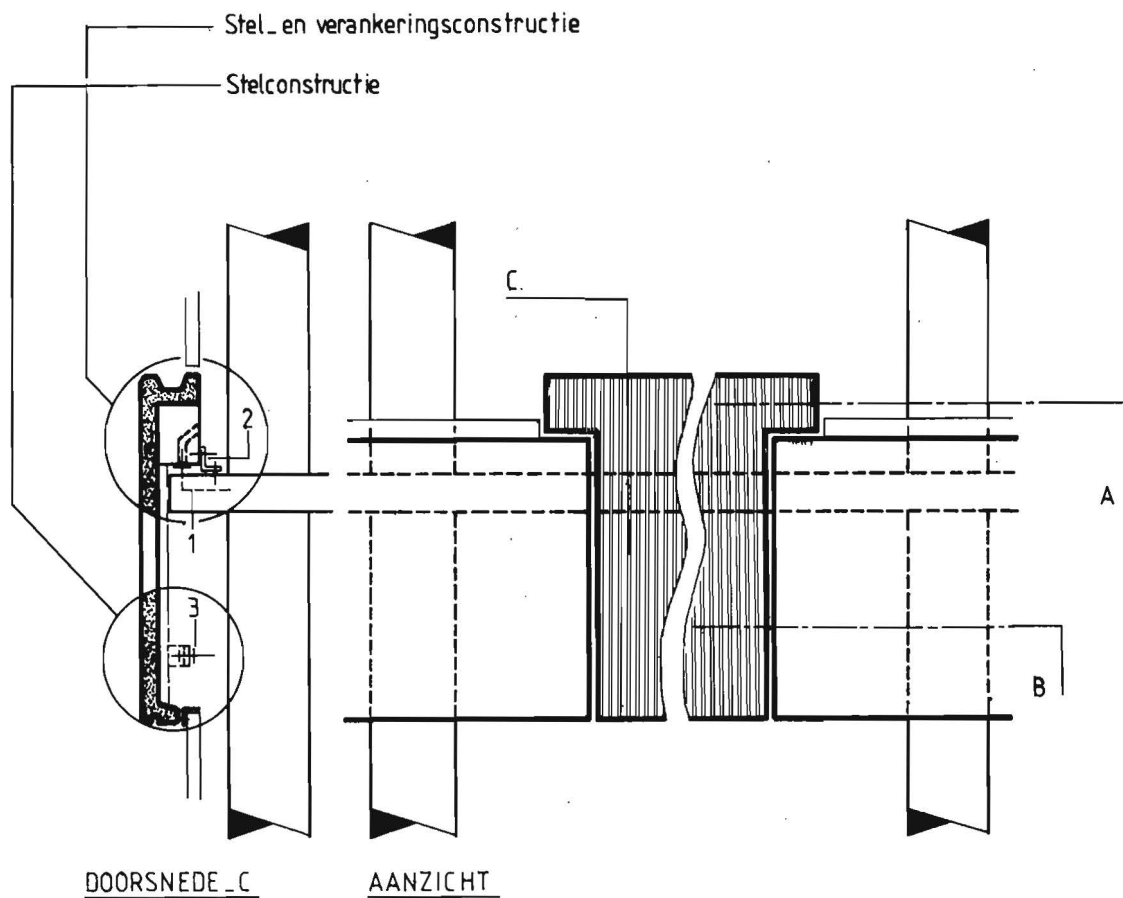
(Adapted detail)

2.3 Verbinding van de elementen aan het skelet

De figuren 5 en 6 tonen de oorspronkelijke bevestigingsconstructie van de elementen aan het skelet.

Om de elementen te kunnen monteren, zullen zij iets uit de verticale stand gebracht moeten worden. Hierdoor kan de dook in de vloer, grijpen in de sparing van het element. Vervolgens kan het element tijdens het zakken door de kraan in verticale stand worden gebracht. De draadeinden die uit de kolom steken, kunnen dan de gaten in het U-profiel vinden. De sparingen in de elementen worden na het afstellen met specie geïnjecteerd.

OORSPRONKELIJKE DETAILLERING



1 - Draadeind met stel.
moer + oplegplaat

2 - Hoekstaal

3 - Z-profiel

4 - Vloerrand

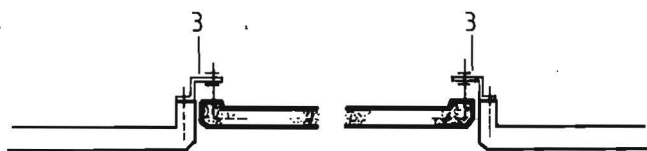
Kolommen

\varnothing 550x550 mm

h.o.h. 7200 mm

Vloer

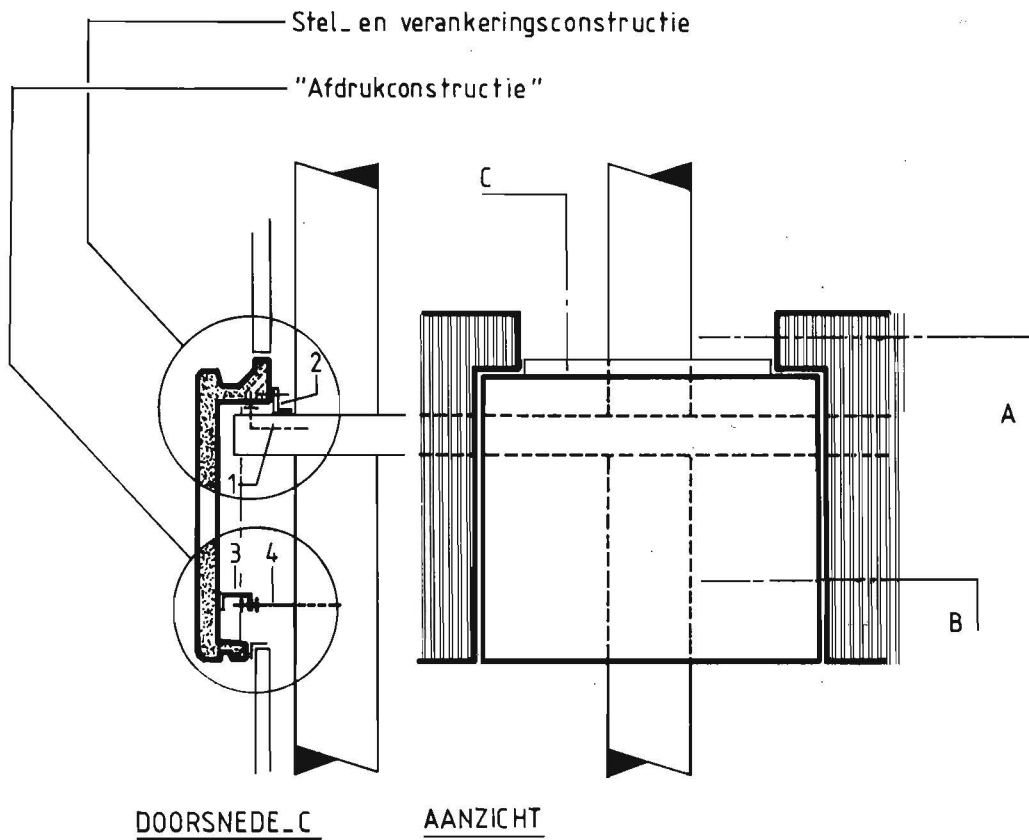
h_f 250 mm



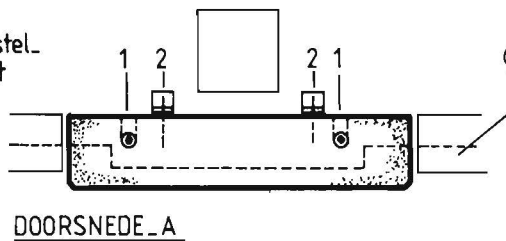
5

Het middenelement (The central unit)

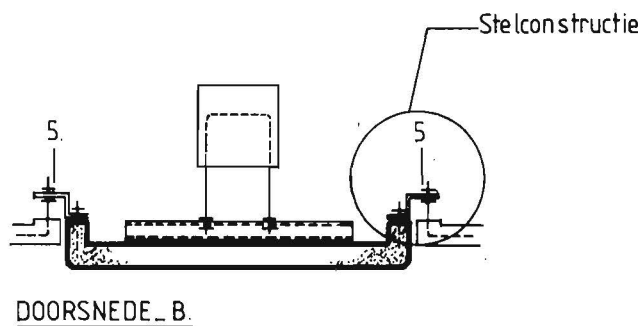
OORSPRONKELIJKE DETAILLERING



- 1- Draadeind met stel-
moer+oplegplaat
- 2- Hoekstaal
- 3- U-profiel
- 4- Draadeind
- 5- Z-profiel
- 6- Vloerrand



- Kolommen
 $\varnothing 550 \times 550$ mm
 h.o.h. 7200 mm
- Vloer
 h_f 250 mm.



Voor de afstelling van de elementen in de hoogte-richting worden de moer en de oplegplaat - beide bevestigd op de dook in de vloer - gebruikt. Deze mogelijkheid voor "hoogtevariatie" is zeker nodig daar het oplegvlak van het element met behulp van een tegenkist zal worden gemaakt en daardoor maatafwijkingen van dit vlak aanwezig kunnen zijn.

Voor de diepte -afstelling van het element is een op de vloer aangebracht hoekstaal gedacht. Grote afwijkingen kunnen optreden in de plaats van de schroefhulzen in de vloer en in het element (schroefhulzen in het element bevinden zich in de stort-zijde van het element). Te verwachten is, dat de gaten in de hoekstalen dan ook opgeruimd zullen moeten worden.

Tenslotte kan nog worden opgemerkt, dat als de dook niet binnen de sparing valt deze moet worden bijgebogen hetgeen gevaar voor breuk oplevert. Het aanbrengen van een nieuwe dook kost veel tijd. Ook is het de vraag of dan de bevestiging in de vloer van voldoende kwaliteit blijft.

Op grond van deze overwegingen zijn in overleg met de ontwerper van het gebouw de details aangepast en is een stelconstructie en een verankeringsconstructie onderscheiden.

Stelconstructie

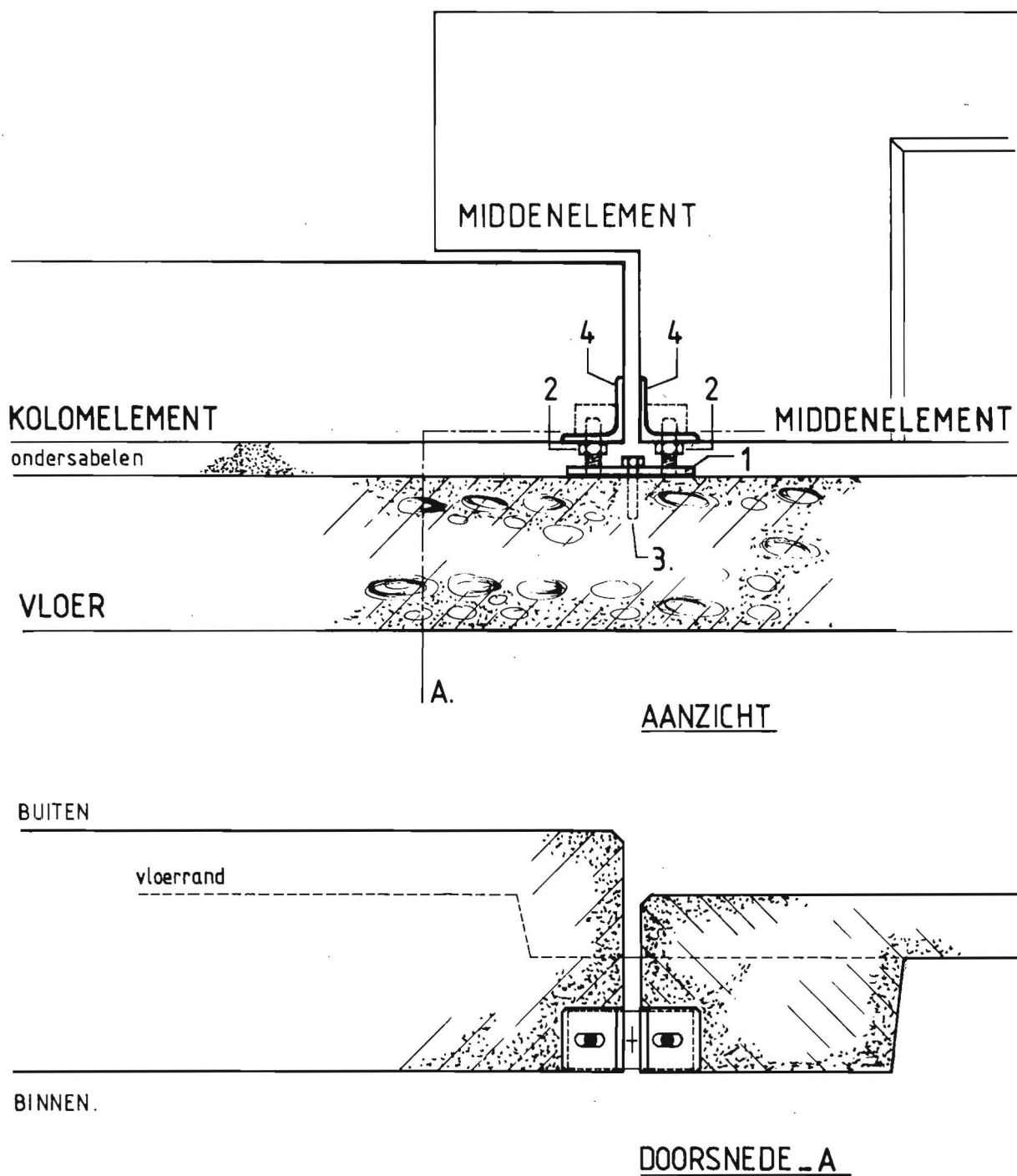
De in par. 1.4 genoemde uitgangspunten resulteerden in het ontwerp van een zogenaamde stelplaat zoals figuur 7 laat zien. De stelplaten worden op de verharde betonvloer gesteld en vastgezet ten opzichte van het peil, het langs- en dwarsstramien.

De nu op maat aangebrachte stelplaten zouden als referentiepunten kunnen fungeren omdat de plaats van de elementen in de hoogte en in de diepte door de stelplaten vast ligt.

De constructie en plaats van de stelplaten is zodanig ontworpen dat één exemplaar zowel ten behoeve van het kolomelement als het middenelement wordt gebruikt. Het boven de hoogtemoer uitstekende deel van het draadeind voorkomt het wegglijden van een geplaatst element.

AANGEPASTE

DETAILLERING



- 1 - Stelplaat (200×100×10 mm) met ingelaste draadeinden (∅ 25 mm)
- 2 - Moeren voor hoogte afstelling
- 3 - Ankerbout (∅ 16 mm)
- 4 - Hoekstaal als stelpunt (100×100×10 mm)

7

De stelconstructie , gezien vanuit de binnenzijde van het gebouw

(The adjusting device, viewed from inside the building)

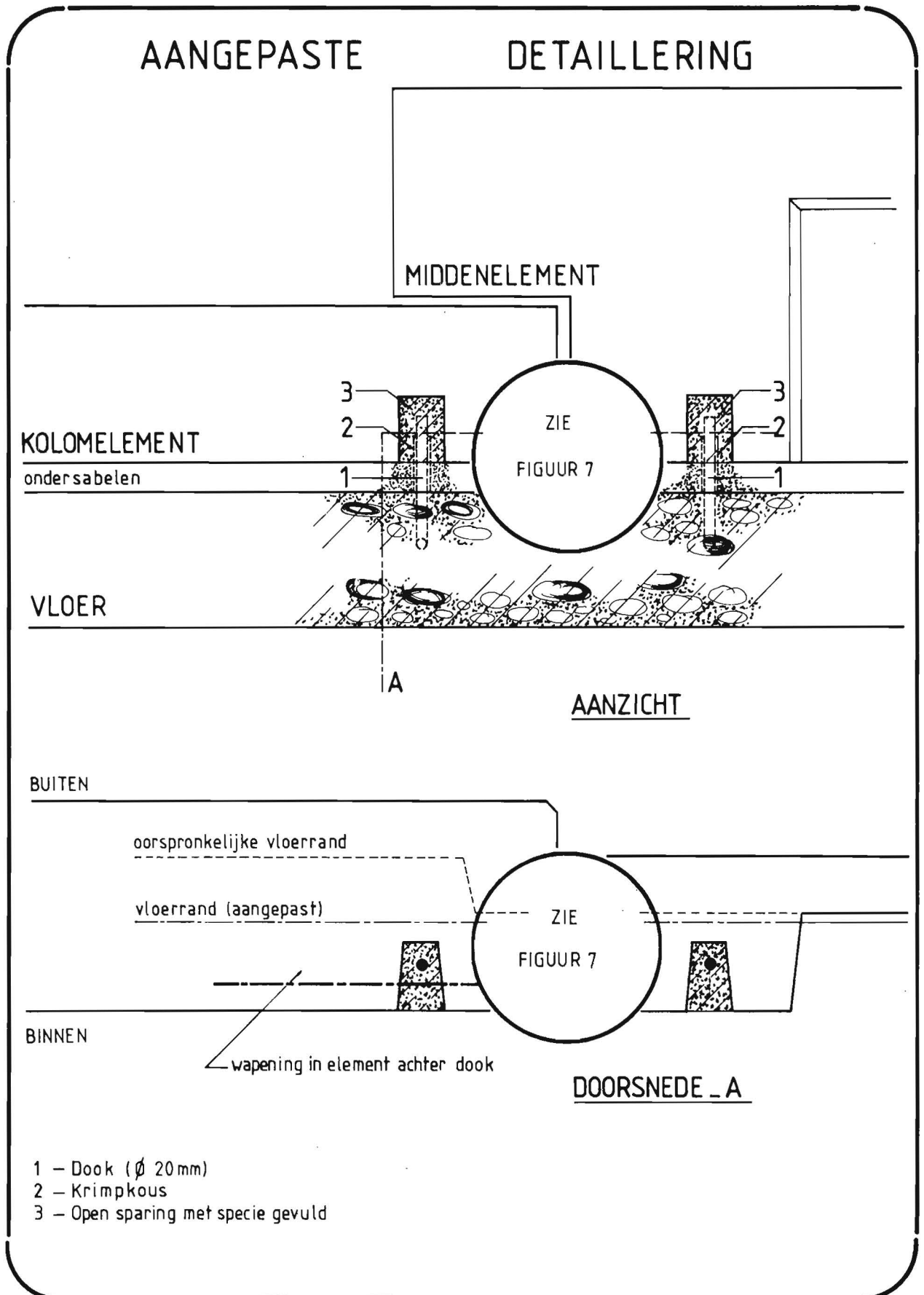
Aan de betonelementen dient ten behoeve van het stellen en ook om het wegglijden te voorkomen een voorziening te worden aangebracht. Deze bestaat uit twee coupes van stalen hoekprofielen waarbij in één van de benen een slobgat is gemaakt. (figuur 7). De mal waarin de elementen worden gemaakt moet zodanig worden geconstrueerd dat de hoekprofielen aan de zijschotten zijn te bevestigen. Hierdoor kan in de afstand tussen het oplegvlak - gevormd door het been van het hoekprofiel met het slobgat - en de onderzijde van het element een grote nauwkeurigheid worden verkregen. Deze nauwkeurigheid wordt ook gevraagd voor de afstand tussen de voorzijde van het element en het slobgat in het hoekprofiel. Hierdoor zouden de elementen, als ze geplaatst zijn, niet in de diepte en de hoogte gesteld behoeven te worden (zie par. 1.4, punt i).

Verankeringsconstructie

Om de elementen aan de vloer te verankeren, zijn nabij de rand van de vloer doken aangebracht. In de elementen zijn aan de achterzijde twee open sparingen gemaakt. Nadat de elementen volledig afgesteld zullen zijn worden deze sparingen met een krimpvrije mortel opgevuld. Is deze vulling voldoende verhard, dan kunnen de moeren voor de hoogte-afstelling worden losgedraaid (figuur 8).

Als de doken niet in de open sparingen zouden passen, is de kans aanwezig dat de doken breken. Vervanging zou een aanzienlijke vertraging met zich meebrengen en zal wellicht de kwaliteit van de bevestiging dook - betonvloer verminderen (zie par. 3.4). Daarom is uitgegaan van een vrije ruimte van 30 mm rondom de dook. Bij een doorsnede van de dook van \varnothing 20 mm zal de open sparing $30 + 20 + 30 = \varnothing$ 80 mm zijn.

Door de open sparingen van de kolomelementen en de tussenelementen in één zelfde vlak te plaatsen is het een bijkomend voordeel dat de vertande vloerrand kan vervallen hetgeen uit bekistingsoogpunt aantrekkelijk is (rationeler bekisten van de vloer mogelijk).



2.4 De afdrukconstructie

Om de elementen te lood te kunnen stellen was door de ontwerper een zogenaamde afdrukconstructie voorgesteld. Deze constructie bevindt zich onder aan de kolomelementen zoals de figuren 5 en 6 aangeven. De afdrukconstructie bestaat uit een aan het kolomelement te bevestigen stalen U-profiel en een aan de kolom te bevestigen draadeind.

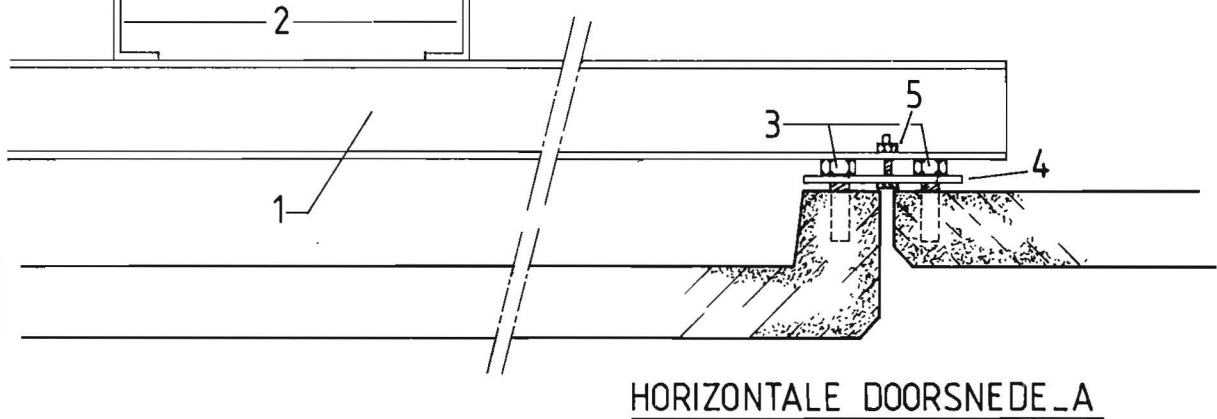
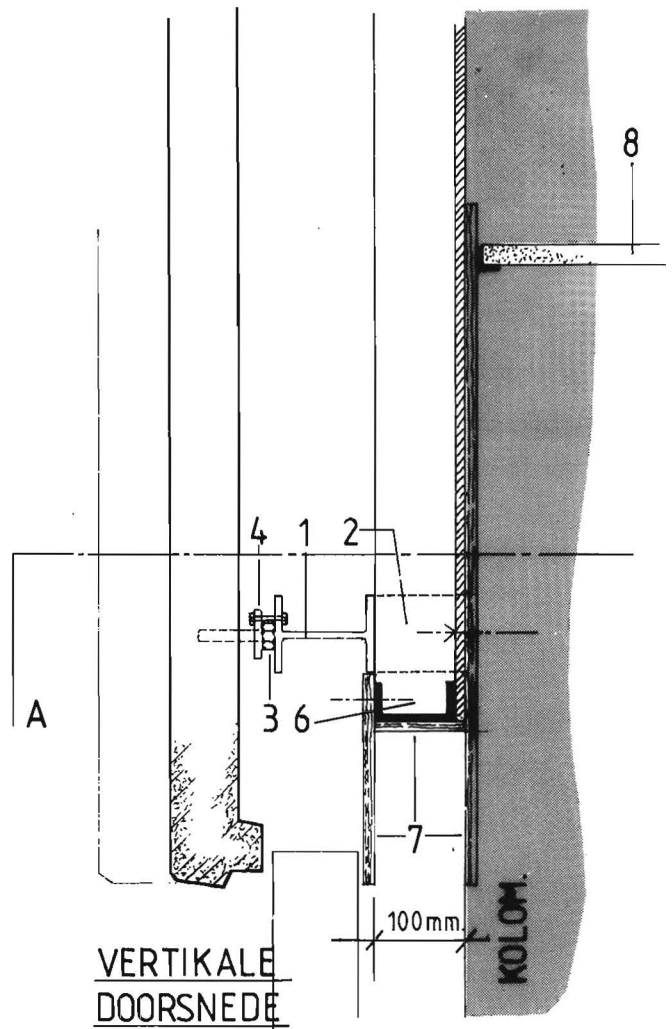
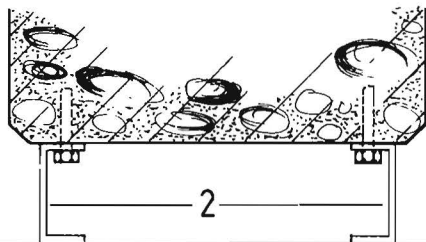
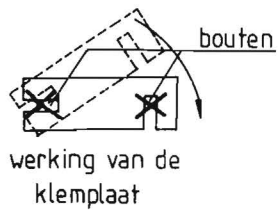
Door de gunstige plaats van het zwaartepunt van het element zou het element op de dook geplaatst kunnen worden zonder dat verdere boutbevestiging nodig is alvorens de kraan het element kan loslaten.

Tijdens de voorbereiding van de uitvoering bleken de volgende criteria nadere studie te vragen:

- De schroefhulzen voor de bevestiging van het stalen U-profiel zitten in de stortzijde van het element. Plaatsafwijkingen zijn dan ook zeker te verwachten;
- Bij het ontkisten moet de kolomkist horizontaal over het draadeind (ca. 400 mm) naar buiten weggetrokken worden (zie figuur 6). Hierdoor is het ook niet mogelijk twee-delige kolombekistingen te gebruiken (bij deze bekistingen wordt ontkist door de bekistingsschotten te laten komen . Dat is: de schotten wijken, draaiend op de onderkant, van de kolom af. Het draadeind nu maakt die draaiende beweging niet mogelijk).
- Ten gevolge van het be- en ontkisten en het storten van de kolommen alsmede door andere invloeden (stoten, enz), kunnen plaatsafwijkingen worden verwacht van de draadeinden.

De kans dat tijdens het plaatsen van het kolomelement met de kraan de draadeinden en de gaten in het U-profiel gepast zouden hebben, is gering. De plaatsafwijking van het draadeinde zou naar schatting horizontaal en verticaal 10 tot 20 mm bedragen. Eenzelfde afwijking had verwacht mogen worden bij de schroefhulzen in het element (t.b.v. de bevestiging van het U-profiel)

- 1 – Stalen balk (HE 140 B)
- 2 – Bevestigingspunten (C-120)
- 3 – Afdrukbouten
- 4 – Klemplaat
- 5 – Bevestiging
- 6 – Stalen frame f.b.v. koof
- 7 – Beplating t.b.v. koof
- 8 – Plafond



zie ook fig. 25

De plaats van het oplegvlak en de schroefhulzen worden immers door een niet nauwkeurig te fixeren tegenkist bepaald. Deze afwijkingen zullen tot gevolg hebben dat: de draadeinden moeten worden bijgebogen, de kraan het element tijdens het bijbuigen moet vasthouden en hierdoor voor de montage van het element twee mensen bij de draadeinden nodig zijn.

Het oplegvlak van het kolomelement wordt met behulp van een tegenkist gemaakt, zodat de kans op maatafwijkingen van dit vak groot is. Blijkt nu - als gevolg hiervan - dat het nastellen in de hoogte meer mm vraagt dan het slobgat in het U-profiel kan opnemen, dan zal het draadeinde vervormen.

Bij de montage van de tussenelementen konden dezelfde problemen als bij de kolomelementen worden verwacht. De middenelementen dienen net als de kolomelementen iets uit de verticale stand gehesen te worden opdat het gat in het oplegvlak van de elementen over de dook in de vloer zal vallen. Terwijl het element nog in de kraan hangt, moet het anker in het element het gat in het Z-profiel vinden. De plaatsafwijkingen van het anker in het middenelement en van de schroefhuls in het kolomelement (t.b.v. de bevestiging van het Z-profiel) zullen echter groot zijn, zodat tijdens het monteren allerlei aanpassingen nodig geweest zouden zijn. De kraan had het element pas kunnen loslaten als de aanpassingen verricht waren.

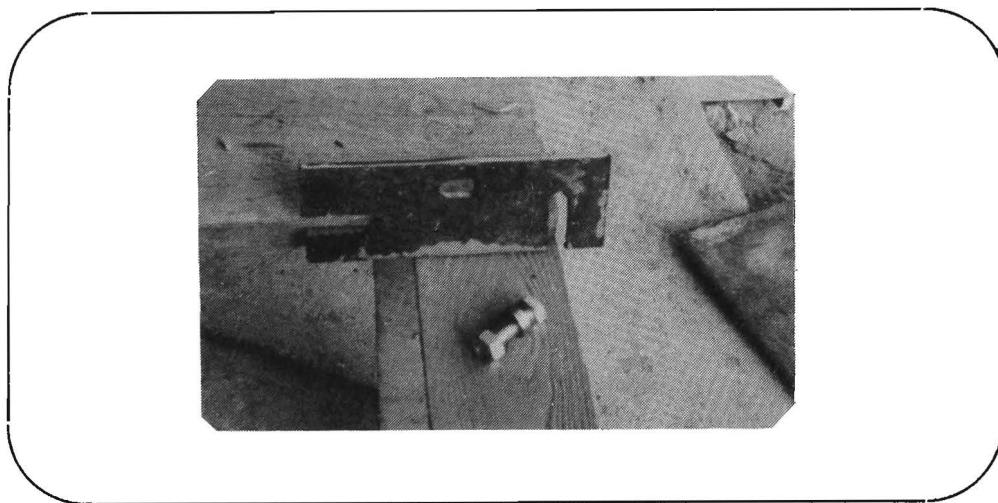
Daarnaast had het in de hoogte nastellen van de middenelementen vervorming van de Z-profielen kunnen inhouden.

Tenslotte kan het voorkomen dat in verticale richting alle afdrukconstructies met dubbele moeren nagesteld moeten worden, te beginnen bij de kolomelementen en vervolgens de middenelementen. Veel tijd zou dan ook voor het nastellen nodig geweest zijn.

Om aan bovengenoemde bezwaren tegemoet te komen werd een aangepaste afdrukconstructie ontworpen. Deze bestaat uit een stalen balk bevestigd aan de kolom van de lager gelegen verdieping (figuur 9).

De lengte van deze balk is groter dan die van het ervoor hangende element zodat het mogelijk is de constructie tevens ten behoeve van de aangrenzende elementen te gebruiken.

Gezien de benodigde ruimte voor de koofconstructie verviel hierdoor de randverstijving van de middenelementen. Aan de achterzijde van de elementen bevindt zich in de beide hoeken een schroefhuls met bout. Een geplaatst element zal, omdat het zwaartepunt buiten het scharnierpunt ligt, aan de onderzijde naar binnen draaien totdat de koppen van de bouten tegen de stalen balk stuiten. Door de bouten verder in of uit te draaien kan het element verticaal worden gesteld. Van een eenmaal afgesteld element worden de koppen van de bouten met een klemplaat tegen de balk geklemd om de verplaatsing van de elementen door zuiging e.d. te voorkomen (figuur 10).



10

Klemplaat (Clamping plate)

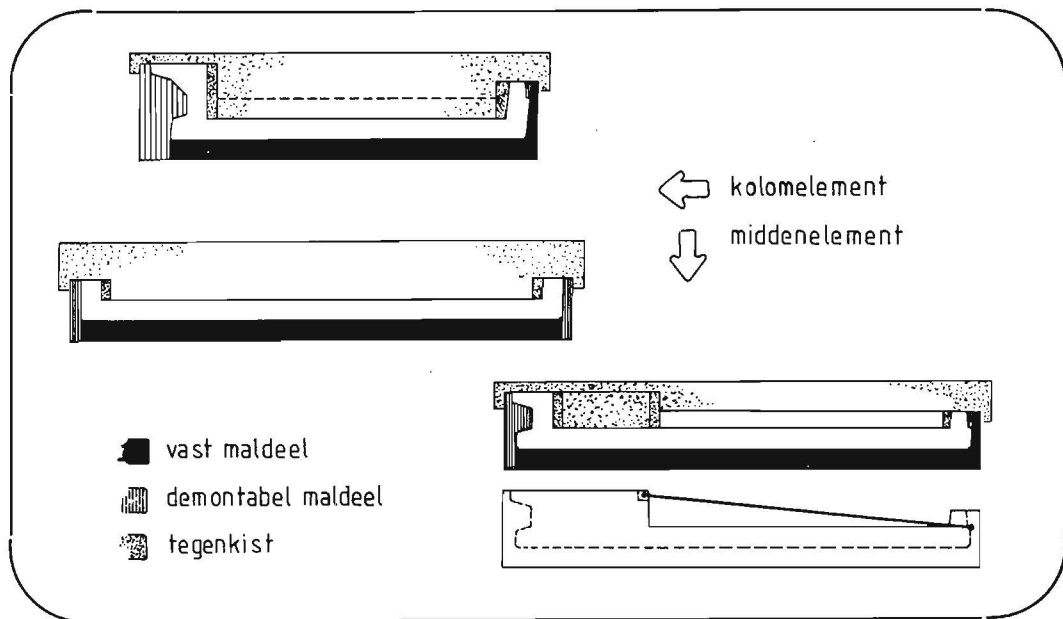
Door lengteveranderingen van de elementen en door toepassing van verzinkte bouten is het in het werk vastlassen van de bouten op de stalen balk niet toegestaan.

3 UITVOERING

3.1 Productie van de gevelelementen

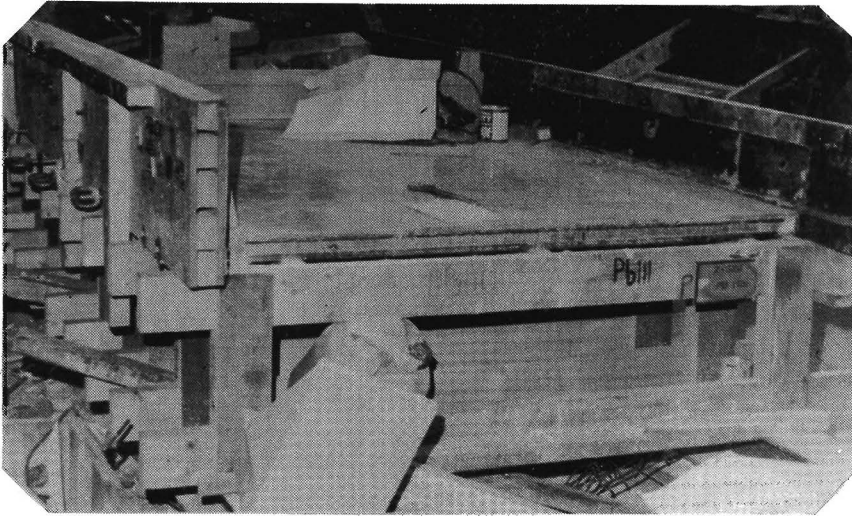
3.1.1 De mal

Het aangepaste onderhoek-detail van de elementen (fig. 4) maakt het mogelijk de randkist van de mal als vast maldeel uit te voeren. De overige zijkanten van de elementen zouden met behulp van demontabele maldelen kunnen worden gemaakt. De hoekstalen (fig. 7) zijn met een redelijke nauwkeurigheid aan te brengen door ze vanuit het vaste maldeel met behulp van een hulpconstructie te fixeren (zie ook figuur 12). De aannemer was van oordeel, dat op deze wijze de mal qua maatnauwkeurigheid zou kunnen worden uitgebuit. Hij stelde de fabrikant dan ook voor de mal op te bouwen zoals in figuur 11 is aangegeven.

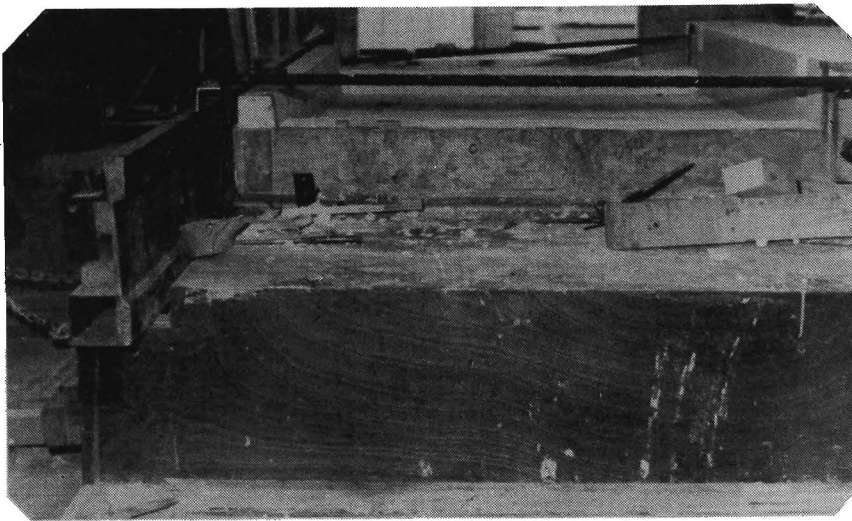


11

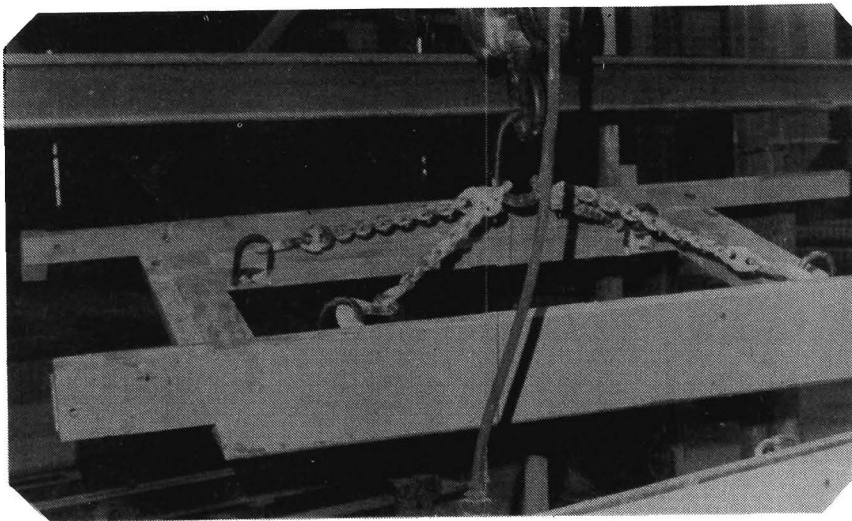
Voorgestelde malopbouw (Proposed template construction)



malbodem



randkist



bovenmal

12

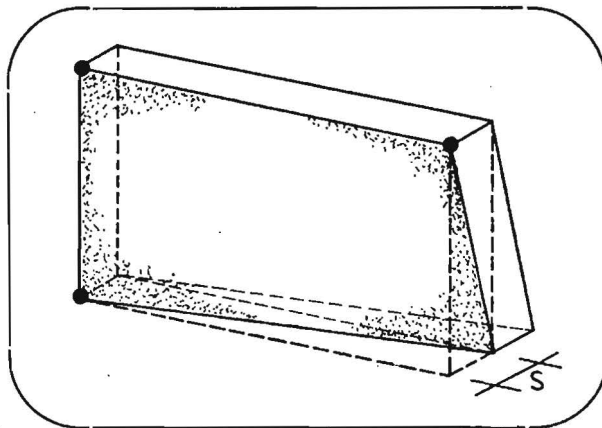
Figuur 12 laat zien, dat de zijkanten van de elementen met behulp van een los, in hout uitgevoerd maldeel werden gemaakt. De hoekstalen werden in dit hout bevestigd.

3.1.2 De elementen: vorm- en maatkwaliteit

Om een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid waarmee de bouwdeelen die bij de gevelsluiting een rol spelen vervaardigd en geplaatst zijn, is een aantal metingen uitgevoerd. Op het tasveld van de betonfabriek zijn nagenoeg alle borstweringelementen voor de zevende en achtste verdieping van het gebouw nagemeten. In bijlage 1 zijn de resultaten opgenomen.

Scheluwte

Scheluwte kan omschreven worden als het verschijnsel dat zich voordoet als niet alle vier de hoekpunten van een (plaatvormig) element in één vlak zijn gelegen. Scheluwte definiëren we als de afstand tussen het vlak door drie van de hoekpunten ten opzichte van het vierde hoekpunt (fig. 13).



13

Scheluwte (Skew)

Men mag daarom ook niet spreken van de scheluwte van een element, maar van de scheluwte van één van de begrenzingsvlakken.

Immers, de scheluwte die aan één vlak van het element optreedt, kan anders zijn voor het andere vlak door afwijkingen in de dikte van de plaat.

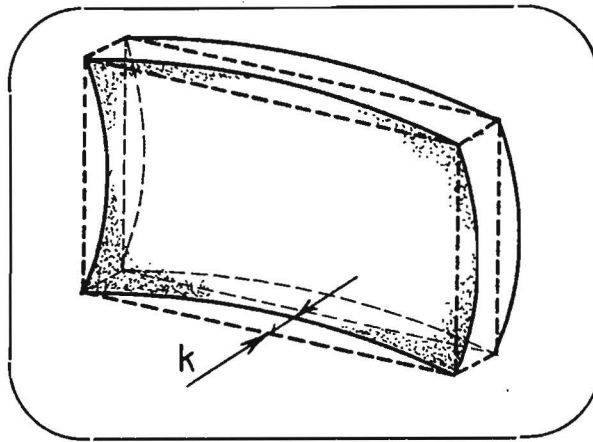
Nu bleek bij dit project, dat de scheluwte niet zozeer een gevolg was van vormafwijkingen in de mal. Het tijdstip van ontkisten en de wijze van opslag zijn van doorslaggevende betekenis geweest. Wordt een aantal nog niet geheel verharde elementen op elkaar gestapeld, dan zal, ook al is het stophout exact op maat, de scheluwte in de platen toenemen. Dit als gevolg van dikteafwijkingen in de elementen waardoor het bovenste vlak van de onderste plaat al een zekere scheluwte zal vertonen, wat weer een scheluwte veroorzaakt in het onderste vlak van de tweede plaat, etc.

De scheluwte was er mede de oorzaak van, dat de montage niet volgens de verwachtingen verliep. In 3.4 zal hierop worden teruggekomen. Het scheluw kunnen zijn was noch door de aannemer, noch door de directie onderkend: een tolerantie-eis voor de scheluwte was niet gesteld. Uit metingen blijkt de grote spreiding in de scheluwte van de vlakken van de tussenelementen (zie bijlage 1, tabel 1.1).

Kromming

Een tweede soort voorkomende vormafwijking van plaatvormige elementen is de kromming. Deze afwijking kan zijn oorsprong al in de mal hebben.

Kromming wordt uitgedrukt in de afstand van het bouwdeel, of halve lengte of hoogte, tot de lijn die de hoekpunten verbindt. Ten opzichte van deze meetpunten wordt de doorbuiging geacht symmetrisch te zijn. (fig. 14). Kromming is echter voornamelijk een gevolg van het doorzakken van de nog niet verharde elementen ten gevolge van horizontale opslag. Ook de plaats van het stophout is van invloed op de grootte hiervan. Zijn de platen, zoals in ons geval, niet overall even dik (zie bijlage 1, tabel 1.4) dan treedt bovendien in één plaat nog een verschil in kromming op. De dikkere delen buigen ten gevolge van het grotere eigen gewicht verder door.



14

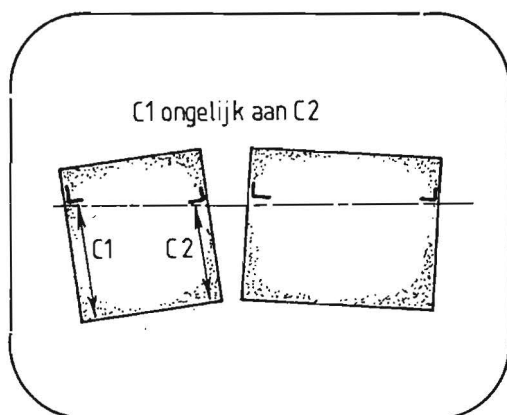
Kromming (Curvature)

In bijlage 1 zijn in tabel 1.2 de meetresultaten opgenomen. De geconstateerde vormafwijkingen (scheluwte en kromming) bemoeilijken het telood stellen van de gevelelementen. In hoofdstuk 4 wordt hierop nader ingegaan.

Hoofdafmetingen

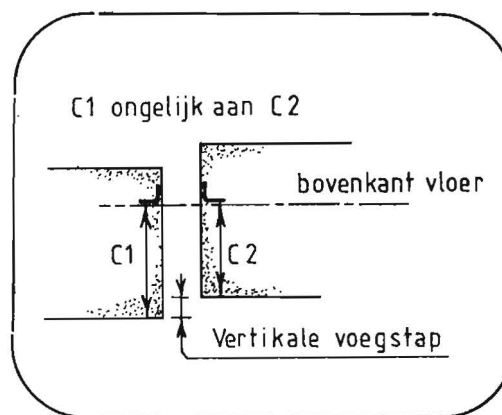
De resultaten van de metingen van de hoofdafmetingen (lengte, afstand van boven- en onderkant tot hoekstaal en de totale hoogte) zijn opgenomen in bijlage 1, tabel 1.3. Het geconstateerde verschil in de lengte van de elementen (t.o.v. de streefmaat) heeft invloed op de voegbreedte. De spreiding in de lengte van de middenelementen is het grootst.

Uit de metingen blijkt ook, dat de hoekstalen (fig. 7) niet alle op gelijke hoogte zitten. Het gevolg daarvan, is, dat de elementen bij het plaatsen scheef aan de gevel komen te zitten (fig. 15). Een tweede gevolg is, dat er een voegstap ontstaat (fig. 16) bij twee aangrenzende elementen.



15

Scheefstand (Tilting)



16

Voegstap (Stepping at joint)

3.2 Montage

3.2.1 Voorbereiding

Het opslaan van elementen op de bouwplaats is geen eenvoudige zaak. Om elementen staande te kunnen neerzetten zijn zware bokken nodig die tevens het omvallen van de elementen moeten belemmeren. Ook moet bij de opslag de montagevolgorde in rekening worden gebracht.

Gezien de ontwikkelde montagemethode werd er bij dit project van uitgegaan, dat de tijd om de elementen te plaatsen korter zou zijn dan de tijd om de elementen in tussenopslag te brengen en daarna weer op te pakken en te monteren. Tussenopslag zou de montagetijd dan tenminste verdubbelen. Gekozen is daarom voor rechtstreekse montage vanaf de wagen.

Uit een zwaartepunt-berekening volgde, dat het hijspunt 20 mm uit de rand van het element geplaatst zou moeten worden. Indien schroefhulzen zouden worden gebruikt ten behoeve van het hijsen, dan moeten deze aan de wapening van het element gelast worden, willen ze tijdens het hijsen niet uit het element breken. Na de montage moeten de schroefhulsgaten worden gedicht (in verband met corrosie en omdat de gaten van binnenuit het gebouw zichtbaar zijn).

Daarom werd een hijshaak gekozen. Tevens is de eenmalige investering hiervoor lager dan de kosten van de schroefhulzen met de bijkomende bewerkingen. Ook geeft een hijshaak de mogelijkheid de stand van het element te corrigeren. Dat dit nodig kan zijn zal volgen uit 3.2.2.

3.2.2 Plaatsen en stellen

De montage van de elementen zal als volgt verlopen:

- Het element wordt hangend in een hijsjuk, waardoor de bovenzijde iets naar binnen helt, met de oplegvlakken tot boven de stelplaten gemanoeuvreed;
- Men laat het element voorzichtig zakken, totdat de draadeinden in de slobgaten vallen van de stalen coupes (fig. 7);
- Het element wordt naar links of naar rechts bewogen tot op een afstand van het dwarsstramien die overeenkomt met de streefmaat;
- Bij verder zakken steunt het element op de hoogtemoeren. Met de moeren als scharnierpunten draait het element aan de onderzijde zover naar binnen totdat de koppen van de bouten (die vooraf zijn ingebracht) het stalen profiel van de afdrukconstructie raken.

Voor het plaatsen van de elementen in de richting evenwijdig aan de gevel is, in tegenstelling tot de beide andere richtingen, niet getracht zoveel mogelijk vooraf te maatvoeren. De reden hiervoor was dat een te grote spreiding in de voegafmeting tussen de elementen werd verwacht als gevolg van de onnauwkeurigheid in de fabricage van de elementen en van de plaats van de stelplaten. Het leek daarom beter, uitgaande van de geplaatse hoekelementen, de overige elementen zodanig te verschuiven tot de voegen nagenoeg aan elkaar gelijk zijn. Hierna rest nog het telood stellen van de elementen met behulp van de afdrukconstructie en het strokend maken van de onderzijden van de elementen.

3.3 Uitrichten van de gevel

3.3.1 Werkwijze

Het voorgenomen montagesysteem, zoals beschreven in 3.2.2, stelde teleur. Een fout in de constructie van de stelplaat en de scheluwte

van de elementen waren debet aan dit falen (in 3.4 wordt hierop nader ingegaan). Men was dan ook genoodzaakt de gevel uit te richten.

Dit uitrichten bestond uit het stellen van drie hoekpunten van een element ten opzichte van een stelsel van horizontaal en verticaal gespannen draden. Hierbij werden van een gevel ongeveer vier verdiepingen in één keer gesteld. Eerst werd aan de buitenzijde van de elementen over klosjes, van hoekelement naar hoekelement een draad gespannen. Deze draad liep ongeveer ter hoogte van de vloer. De elementen werden nu, ter plaatse van de voeg, op een klosdikte aan de draad gesteld. Vervolgens werd per element, vanuit een hoekpunt aan de bovenzijde, een draad gespannen naar het overeenkomstige punt van een reeds afgesteld element, een viertal verdiepingen lager. Een derde hoekpunt werd op deze manier aan de draad gesteld. Een aanwezige scheuwte in de plaat veroorzaakte in de voeg, ter plaatse van het vierde niet gestelde hoekpunt, een voegstap. Werd deze voegstap als te groot beoordeeld, dan werd de afwijking zo goed als mogelijk over twee voegen verdeeld.

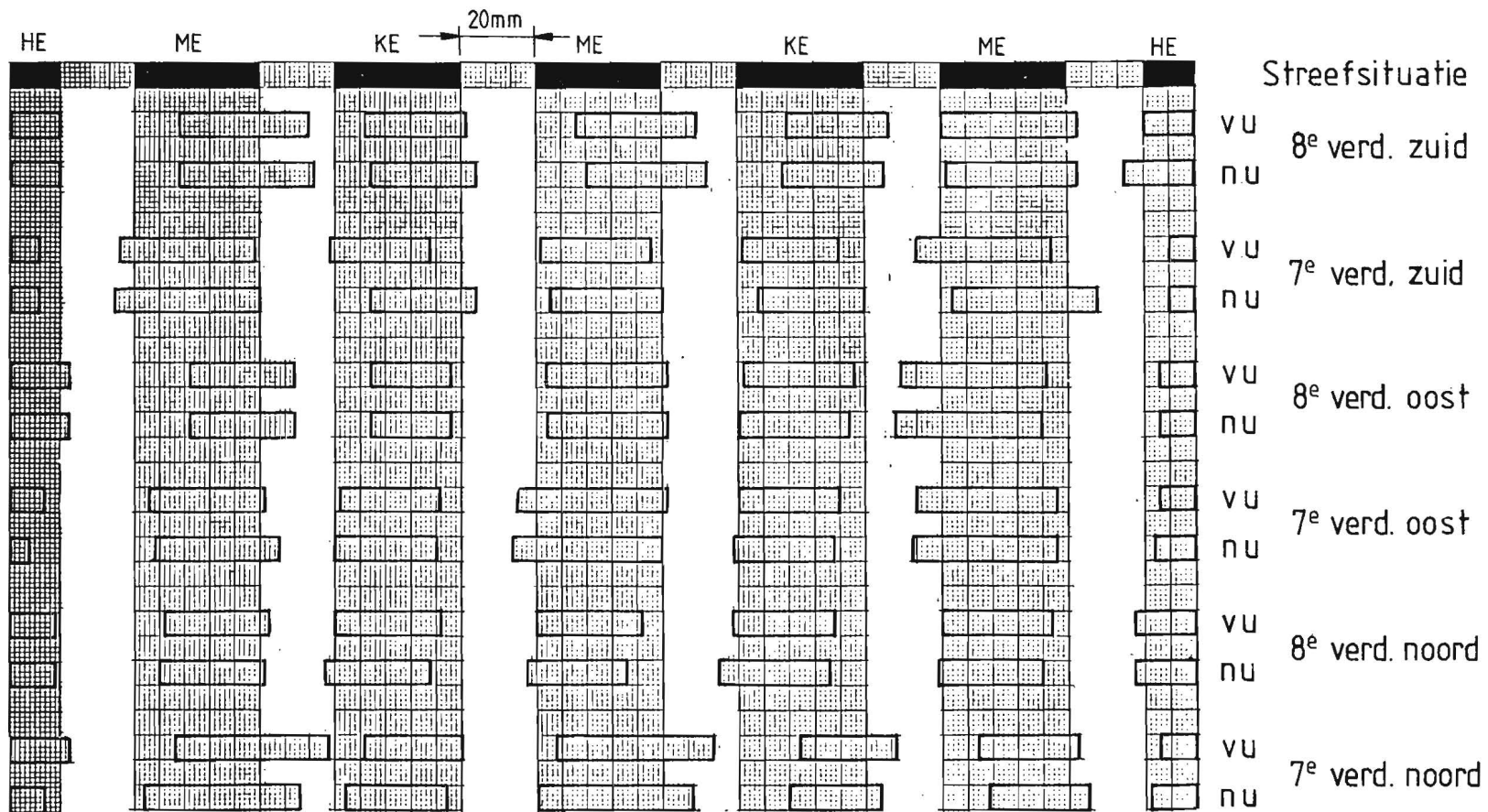
Met behulp van metingen is het effect van het uitrichten onderzocht. Ten behoeve van de metingen en voor de weergave van de resultaten is de plaats van de betonelementen in drie richtingen aangegeven: de richting evenwijdig aan en loodrecht op de gevel worden resp. de x-en y-richting genoemd terwijl de hoogterichting als gebruikelijk met z wordt aangegeven.

Verder dient nog opgemerkt dat op de meetresultaten - die in tabelvorm in bijlage 2 zijn opgenomen - de meetonnauwkeurigheid niet in mindering is gebracht. Aangenomen mag worden dat de invloed hiervan miniem is.

3.3.2 X-richting (horizontaal, evenwijdig aan de gevel)

In de x-richting zijn de metingen zowel voor als na het uitrichten van de gevel uitgevoerd. De resultaten hebben betrekking op de breedte van de voeg tussen de elementen ter plaatse van de oplegging.

Tabel 2.1 (bijlage 2) laat zien dat het verplaatsen van de elementen, met als oogmerk het verkleinen van afwijken in de voegbreedte, hoegenaamd geen effect heeft gehad. De aangebrachte cor-



VU = Voor het uitrichten
 NU = Na het uitrichten
 HE = Hoeelement
 ME = Middenelement
 KE = Kolomelement

rectie, weergegeven in de derde kolom van tabel 2.1, had even zo goed achterwege kunnen blijven. In 95 % van de gevallen blijkt de voegbreedte groter of gelijk te zijn dan 13 mm. De voegbreedte is echter nergens groter dan 29 mm.

In fig. 17 is, uitgaande van de na te streven situaties (deze is m.b.v. een raster aangegeven), voor de 7e en 8e verdieping de situatie voor het uitrichten (VU) en na het uitrichten (NU) aangegeven.

De streefmaat van de voegbreedte bedraagt 20 mm. De lengte van de elementen is niet op schaal getekend maar daarvoor is een lengte van 25 mm aangehouden. Wijken de getekende staven en de tussenliggende openingen van deze maten af, dan betekent dit een afwijking in het element resp. de voeg. Wat betreft de afwijkingen, in afmetingen of plaats, zijn deze op ware grote weergegeven.

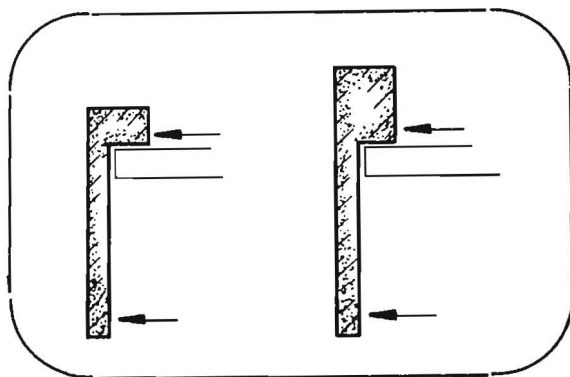
Tenslotte wordt nog opgemerkt, dat van de hoekelementen de plaats van één uiteinde slechts van belang is en dat de lengte van de getekende staaf geen enkele informatie bevat: deze zijn niet op schaal getekend.

3.3.3 IJ-richting (loodrecht op de gevel)

De hier te presenteren resultaten van de metingen hebben betrekking op de plaats van de elementen ten opzichte van het op de betreffende verdiepingen gemarkeerde langsstramien. De situatie na het uitrichten van de gevel staat weergegeven in de figuren 19, 20 en 21.

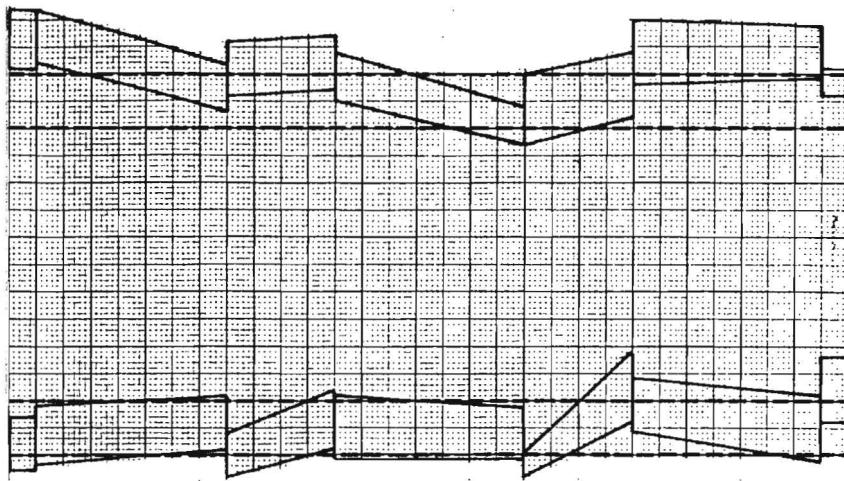
Van elke borstwering zijn aan de binnenzijde vier punten gemeten:

- twee punten, aan elk uiteinde van de plaat één, ter plaatse van de oplegging.
- de twee onder-hoekpunten.



18

Meetpunten (Measuring points)



Binnenrijde

Bovenkant

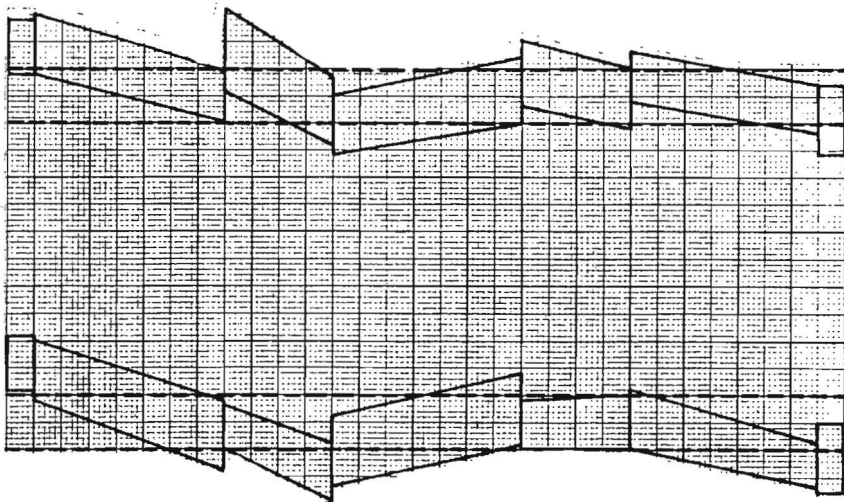
Buitenrijde

 8^e verdieping.

Binnenrijde

Onderkant

Buitenrijde



Binnenrijde

Bovenkant

Buitenrijde

 7^e verdieping.

Binnenrijde

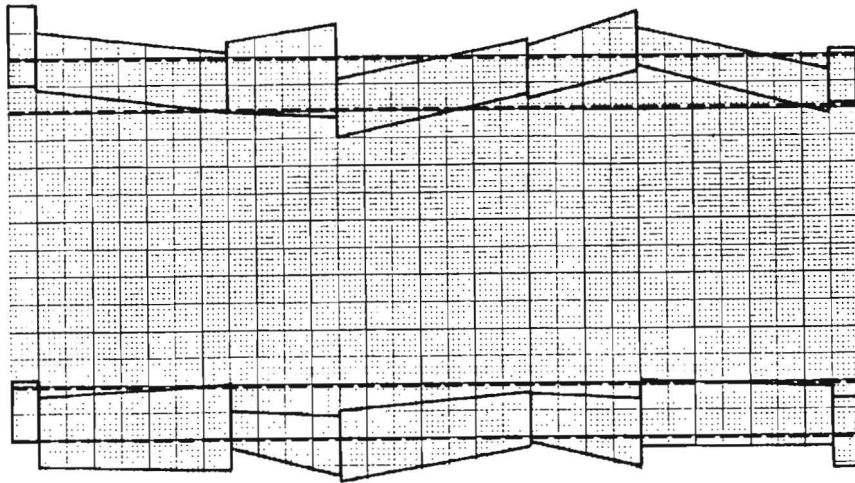
Onderkant

Buitenrijde

19

Plaats van de elementen aan de zuidgevel (ij-richting)

(Position of units on south facade (y-direction))



Binnenzijde

Bovenkant

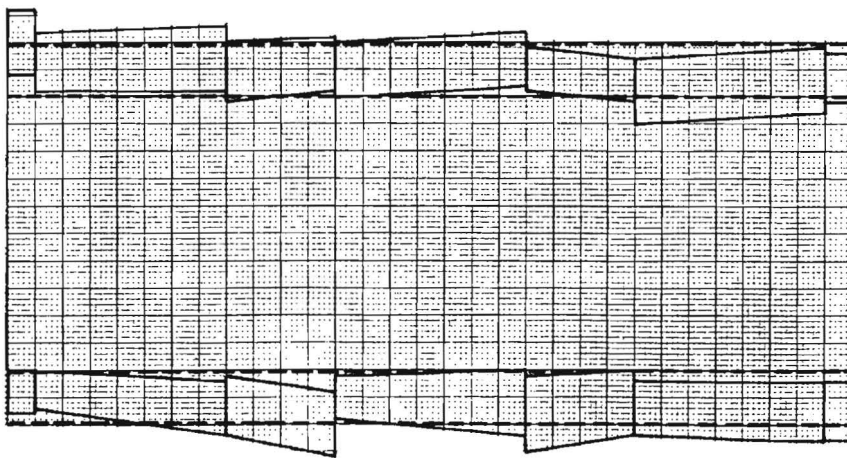
Buitenzijde

8^e verdieping.

Binnenzijde

Onderkant

Buitenzijde



Binnenzijde

Bovenkant

Buitenzijde

7^e verdieping.

Binnenzijde

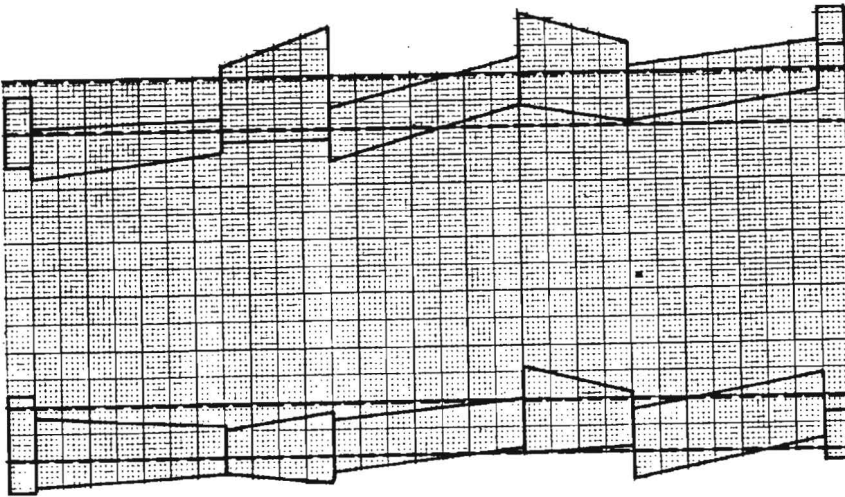
Onderkant

Buitenzijde

20

Plaats van de elementen aan de oostgevel (ij_richting)

(Position of units on east facade (y_direction))



Binnenzijde

Bovenkant

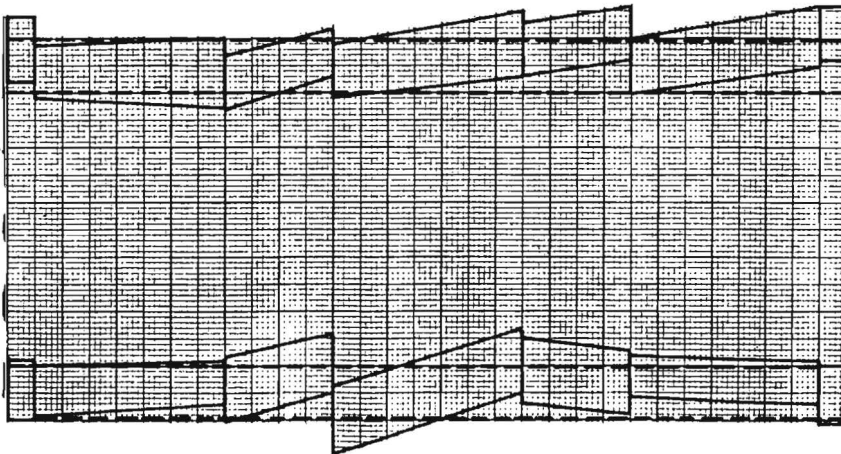
Buitenzijde

 8^e verdieping.

Binnenzijde

Onderkant

Buitenzijde



Binnenzijde

Bovenkant

Buitenzijde

 7^e verdieping.

Binnenzijde

Onderkant

Buitenzijde

21

Plaats van de elementen aan de noordgevel (ij_richting)

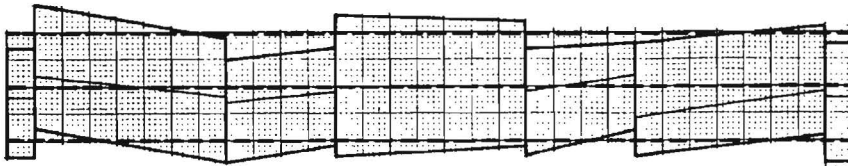
(Position of units on north facade (y-direction))

In elke grafiek geeft de bovenste rij als het ware de doorsnede over de bovenzijde van de elementen; de tweede rij geeft steeds een doorsnede over de onderzijde. De verspringende lijnstukken aan de bovenzijde van een rij verbeelden de verbindingslijnen van de meetpunten zoals die van binnenuit zijn gemeten. Het niet op elkaar aansluiten van deze lijnstukken betekent een voegstap aan de binnenzijde. De situatie zoals deze zou moeten zijn, is in de grafieken door twee stippellijnen aangegeven. De dikte van deze band is op 10 mm gesteld (deze 10 mm is enkel en alleen gegeven om de tekening te kunnen maken en bevat daarom geen enkele informatie). De verspringende lijnstukken aan de onderzijde van een rij zijn tot stand gekomen door sommatie van de aangenomen 10 mm en de dikte-afwijking in de elementen. Een verspringing in de aansluiting van de lijnstukken betekent hier een voegstap zoals die bij elementen van gelijke dikte tot uiting zou zijn gekomen.

3.3.4 Z-richting (loodrecht, evenwijdig aan de gevel)

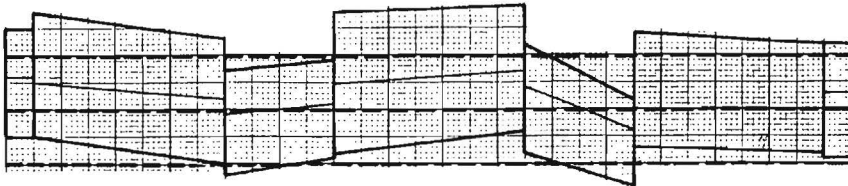
In de Z-richting zijn de onderkanten van de oplegvlakken in de betonelementen opgemeten. Op de achtste verdieping zijn deze punten voor en na het uitrichten opgemeten. Op de zevende verdieping alleen na het uitrichten. Feitelijk geven de meetuitkomsten informatie over de ligging van de hoogtemoeren en voor de 8^e verdieping de correctie die hierop is aangebracht. Door selectief de afwijkingen in de afstanden tussen het oplegvlak en de boven- en onderzijde van de elementen bij de ligging van de "hoogtemoeren" op te tellen, kan de plaats van de elementen in de gevel geconstrueerd worden.

De figuren 22 en 23 tonen de plaats van de betonelementen, in de Z-richting als een schematisch aanzicht van de gevel. Eén segment uit een balkenrij stelt een element voor, waarbij de middelste lijn de verbinding vormt tussen de twee oplegpunten. Vanuit de lijn, is naar boven en naar beneden een afstand van 10 mm uitgezet, vermeerderd met de afwijking in de overeenkomstige afmeting van het element.

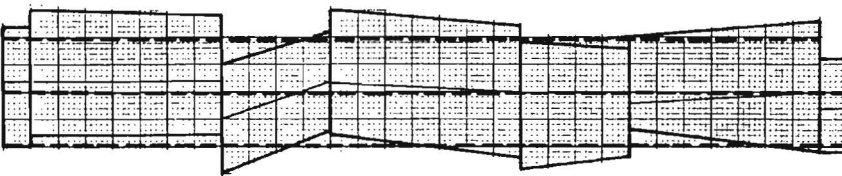


Voor uitrichten

8^e verd. zuid-
gevel



Na uitrichten



Voor uitrichten

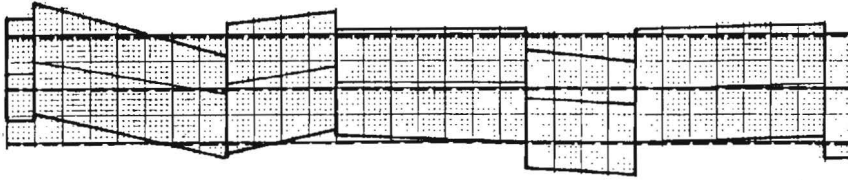
8^e verd. oost-
gevel



Na uitrichten

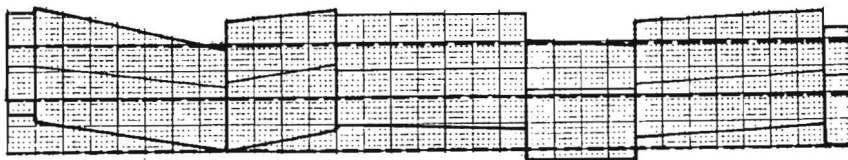
22 Plaats van de elementen aan de gevel (z-richting)

(Position of units on the facade (z-direction))

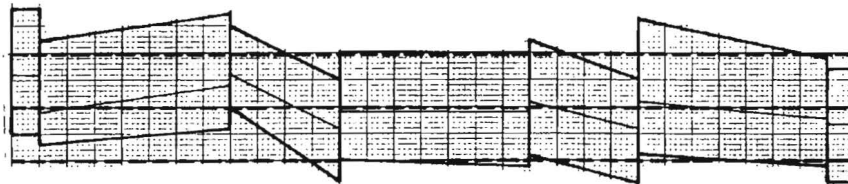


Voor uitrichten

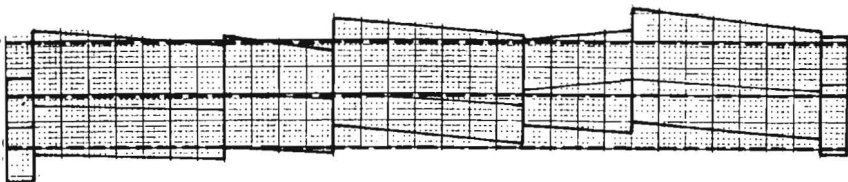
8 verd. noord-
gevel



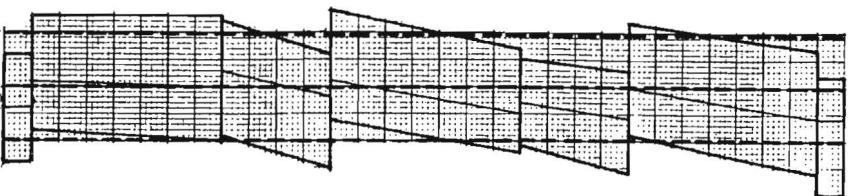
Na uitrichten



Na uitrichten
7 verd. zuid-
gevel



Na uitrichten
7 verd. oost-
gevel



Na uitrichten
7 verd. noord-
gevel

(Position of units on
the facade (z-direction))

23 Plaats van de elementen aan de gevel (z-richting)

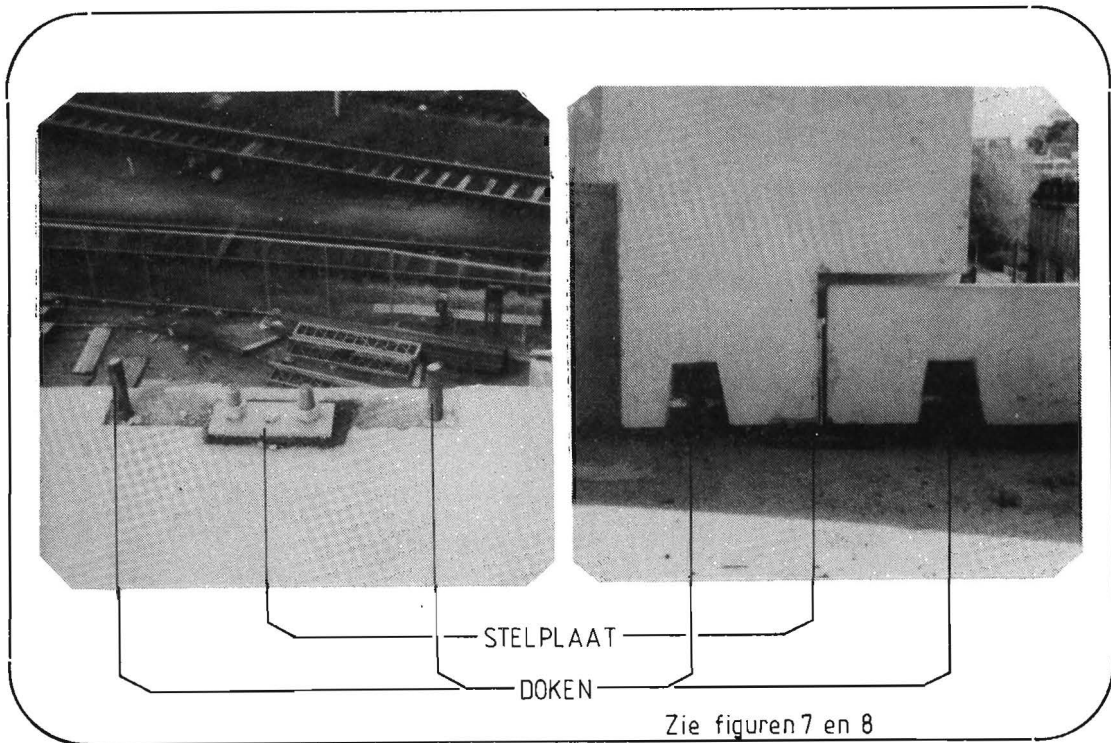
Een sprong in de aansluiting van de lijnstukken aan de onderzijde van een rij duidt op een voegstap aan de onderrand van elementen. Een dergelijke sprong aan de bovenzijde betekent een voegstap die zou optreden indien de elementen van gelijke hoogte waren. In cijfers uitgedrukt zijn de voegstappen en de ligging van de "hoogtemoeren" ondergebracht in de tabellen 2.4 en 2.5 van bijlage 2.

3.4 Evaluatie

Helaas beantwoordde de stelmethode in de praktijk niet geheel aan de verwachtingen. Wel werd voldaan aan het uitgangspunt: een snelle plaatsing van de elementen. De kraan had geen wachttijd zoals bij andere montagemethoden wel voorkomt: denk aan het aanbrengen van een tijdelijke bevestiging, in hoogte stellen met behulp van vulplaatjes en dergelijke.

Aan het tweede geformuleerde uitgangspunt - maatvoeren vóór het element is geplaatst, gekoppeld aan een probleemloze montage - kon echter helaas niet geheel worden voldaan. Weliswaar werkte de hoogteafstand (hoogtemoeren) naar tevredenheid, de andere maatvoeringsfunctie van de stelplaat daarentegen kon veelal niet worden gerealiseerd. Een onvolkomenheid in de constructie van de stelplaat was debet aan dit falen. Zo werd bij het plaatsen van één element op de stelplaat deze steeds excentrisch ten opzichte van het bevestigingspunt belast. Hierdoor verdraaide de stelplaat waardoor de maatvoering teniet werd gedaan. Vastzetten van de stelplaat met een kunstmortel durfde men niet aan in verband met het definitieve karakter van de bevestiging. Een correctie zou dan zonder kosten niet meer mogelijk zijn.

Dat de montagemethode niet naar behoren verliep, heeft nog een tweede oorzaak. De scheluwte in de elementen veroorzaakte bij deze stelmethode een te grote afwijking in de voeg tussen het betonelement en de aluminium pui. Om de gevolgen van deze scheluwte gunstiger te verdelen zijn de stelplaten verschoven of verdraaid.



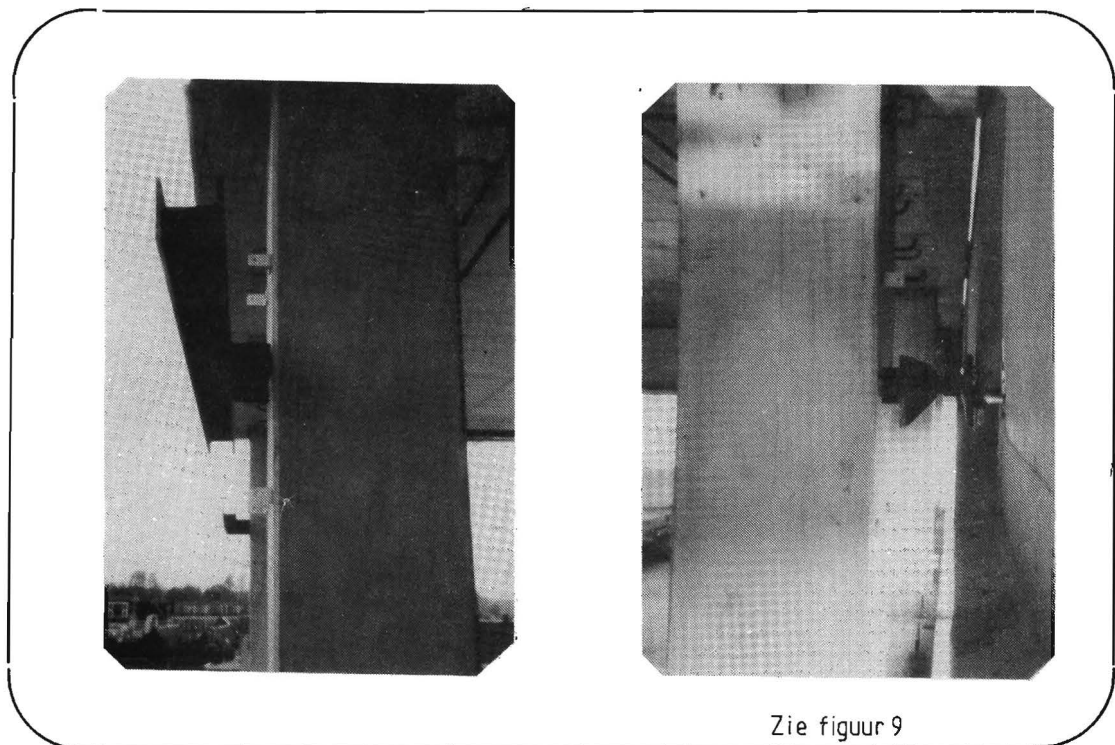
24

Stel- en verankeringsconstructie (Adjusting en anchorage device)

Tording van de kolommen gaf - versterkt door de lengte van de stalen balk - afwijkingen in de plaats van de drukvlakken: bij de afdrukconstructie het vlak waar de bout de stalen balk raakt.

Correctie was mogelijk door middel van vulplaatjes tussen de kolom en de bevestigingspunten van de stalen balk, zie figuur 25.

Nadat was gebleken dat het voorgenomen montagesysteem in de richting lood-recht op de gevel teleurstelde, is men met behoud van de stelplaat, overgegaan op het uitrichten van de gevel zoals beschreven in 3.3. Het uitrichten was mogelijk omdat de stelplaten niet met een kunstmortel waren vastgezet. Door de bevestigingsbout van de stelplaat iets los te draaien konden de elementen worden gecorrigeerd. Correcties naar buiten waren eenvoudig uitvoerbaar: het zwaartepunt van de elementen lag buiten de oplegpunten. Correcties naar binnen moesten met behulp van een Tirfortakel gebeuren.



Zie figuur 9

25

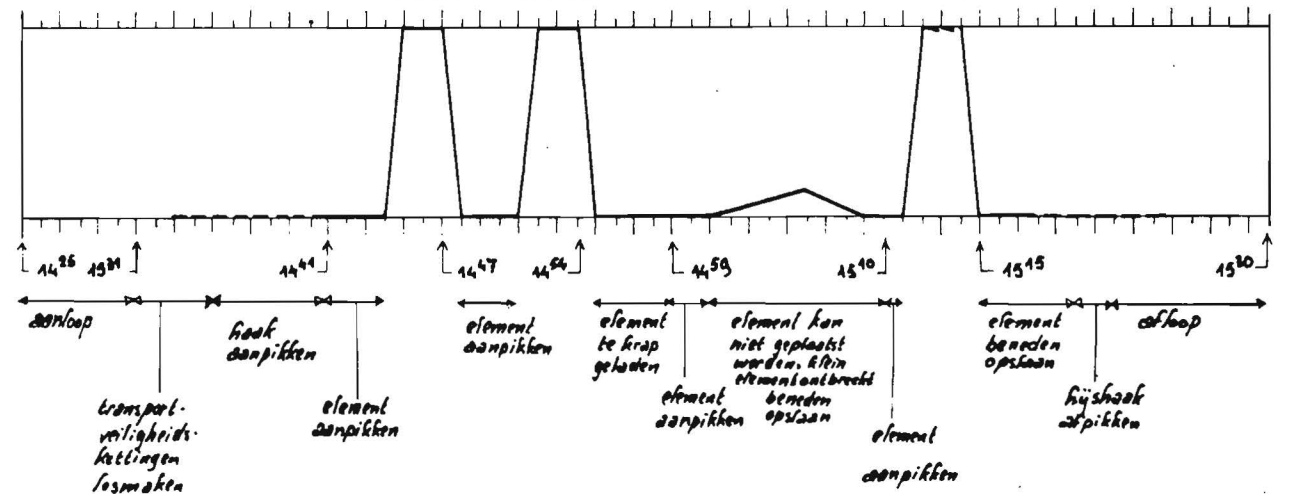
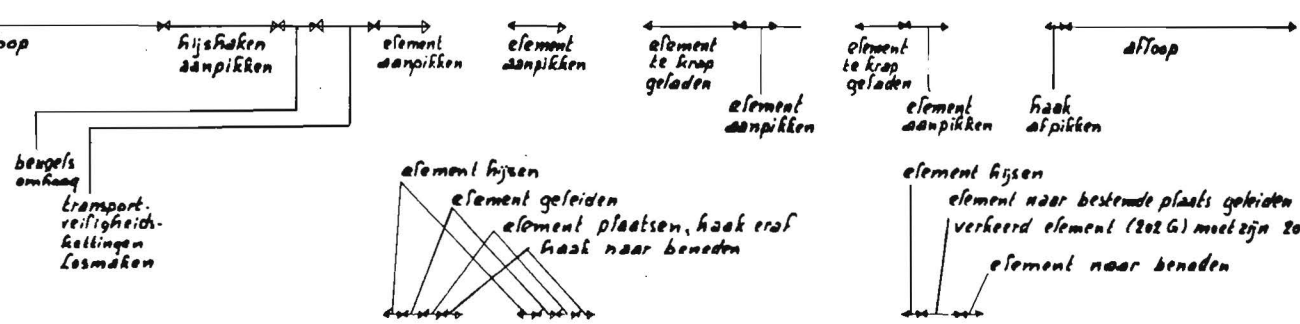
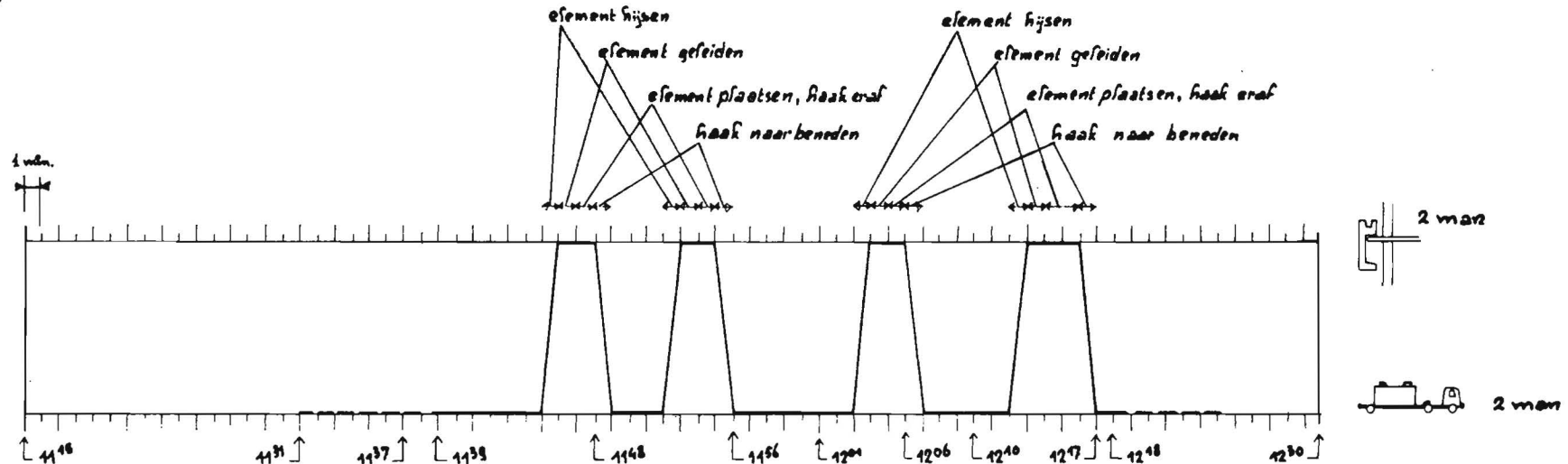
Afdrukconstructie (Vertical tilting device)

De hijshaak gaf enkele problemen. Door het gewicht van de elementen moest de hijshaak zwaar worden gedimensioneerd. Daardoor vroeg het in de juiste stand manoeuvreren van de hijshaak bij de wagen twee man. Door te weinig stophout onder de elementen of stophout op de verkeerde plaats aangebracht, kon de hijshaak in die gevallen moeilijk onder de elementen worden geschoven.

Uit tijdstudies bleek de cyclustijd voor het plaatsen van de elementen 7 min. te bedragen. De cyclustijd is als volgt opgebouwd.

aanpakken element met hijshaak	3 min.
hijsen	1 min.
plaatsen element	2 min.
vieren	<u>1 min.</u>
cyclustijd per element	7 min.

Figuur 26 laat het proces van het plaatsen van de elementen zien. De totale arbeidstijd per element bedraagt 6,92 mu. In de navolgende opstelling is deze tijd gespecificeerd.



stelplaat	maatvoeren en boren bevestigingspunt	0,35	
	monteren stelplaat	0,36	
	maatvoeren en hoogte instelling	0,28	
	controle maatvoering stelplaat	<u>0,11</u>	1,09
afdrukconstructie	monteren afdruk balk	1,44	
	nastellen afdrukconstructie	<u>0,20</u>	1,64
plaatsen element	netto plaatsingstijd	0,48	
	aan- en afloop en storingen	<u>0,68</u>	1,16
nastellen	nastellen elementen		2,16
verankering	aangieten en ondersabelen element		<u>0,39</u>
totale arbeidstijd per element			<u><u>6,44</u></u>
P.M. isoleren binnenzijde element		1,00	
diversen		0,50	

Uit deze opstelling blijkt dat de montage van de elementen maar 17 % van de totale arbeid per element uitmaakt. Het nastellen van het element kost 31 % van de totale arbeidstijd, wat vooral veroorzaakt werd door de scheluwte van de elementen. Verder laat figuur 26 zien, dat een aantal storingen het proces stagneert en de productie daardoor doet verminderen. Belangrijke storingsbronnen bleken te zijn:

- Aanloop;
- Moeilijkheden bij het aanpakken van de elementen met de hijs- haak zoals beschreven;
- Het te krap laden van elementen: haak kon niet altijd goed tussen de elementen komen;
- Volgorde van de elementen niet juist;
- Hijshaak werd voor ander hijswerk gebruikt.

Voor het plaatsen van de elementen is de procestijd 7 min (de bewerkingstijd bedraagt: 4 man x 7 min = 28 manmin). Afgezien van de genoemde storingen kunnen per uur $60 : 7 = 8\frac{1}{2}$ elementen worden geplaatst. Zou een goede oplossing gevonden zijn voor het hijsen met behulp van schroefhulzen (zie 3.2.1) dan zou de procestijd voor het plaatsen van één element naar schatting 6 min kunnen be-

dragen. In dat geval zouden ook geen 4 maar 3 man nodig zijn (Het manoeuvreren met de zware hijshaak vraagt 2 man bij de oplegger. Met schroefhulzen zou 1 man voldoende zijn geweest). De bewerkingstijd bedraagt dan: 3 man x 6 min = 18 manmin. De bewerkingstijd had met 30 % verkort kunnen worden terwijl de productie theoretisch op $60 : 6 = 10$ elementen per uur kon liggen. Of deze tijd-winst ook kostenwinst had gebracht is te betwijfelen omdat - zoals in par. 3.2.1 is beschreven - de gaten van de schroefhulzen gedicht moeten worden.

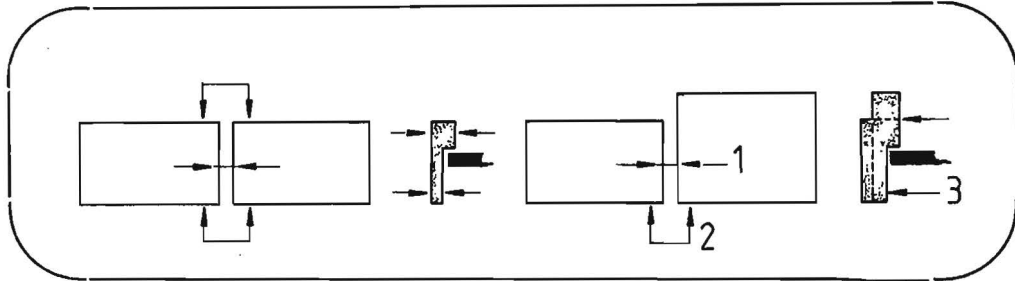
4 RELATIE STELMETHODE - NAUWKEURIGHEID

4.1 Inleiding

Voor drie aansluitingen zal worden nagegaan hoe groot de invloed is van de fabrikage-, de plaatsings- en maatvoeringsafwijkingen op die aansluitingen. Waar mogelijk zal tevens de betekenis worden onderzocht die een stelmethode kan hebben voor de nauwkeurigheid van de aansluitingen.

De aansluitingen zijn:

- 1 De voeg tussen twee elementen;
- 2 De verticale voegstap aan de onderzijde van de elementen;
- 3 De voeg tussen de onderzijde van de elementen en de bovendorpel van de aluminium pui, alsmede de horizontale voegstap die in deze voeg tot uiting komt.



27

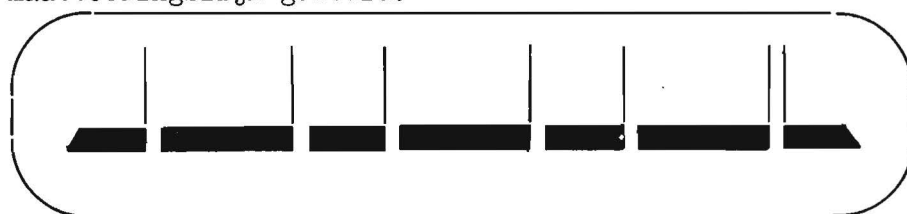
Aansluitingen (Connections)

4.2 Voeg tussen twee elementen

Beschouwen we een rij elementen in de gevel, dan zien we dat deze bestaat uit twee hoekelementen, twee kolomelementen en drie middenelementen. Tiesamen vormen deze elementen zes voegen waarvan de streefmaat voor elk 20 mm bedraagt.

In verband met de uitstekende delen van de middenelementen dienen deze als laatste geplaatst te worden. Voor het stellen van de elementen in de richting evenwijdig aan de gevel kan een aantal varianten worden gegeven:

- 1 Het stellen wordt uitgevoerd terwijl de kraan het element vasthoudt.
 - a De elementen worden met een uiteinde ten opzichte van een maatvoeringslijn gesteld.

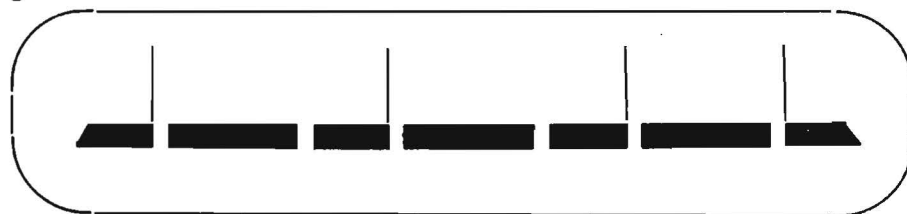


28

Stelmethode 1a (Adjustment method 1a)

Uit de berekeningen van bijlage 3 volgt, dat volgens deze methode en gegeven dit project de voegbreedte ligt tussen de 9,4 30,6 mm.

- b De kolom- en hoekelementen worden gesteld zoals onder a omschreven. De middenelementen worden zodanig in de gevormde openingen verplaatst totdat de voeg links en rechts even groot is.

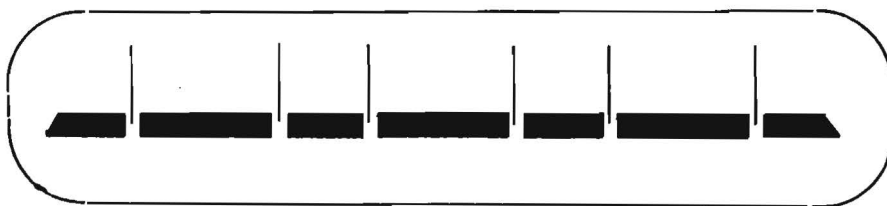


29

Stelmethode 1b (Adjustment method 1b)

In dit geval ligt de voegbreedte tussen de 15,5 en 26,9 mm.

c De elementen worden steeds centrisc h tussen twee maatvoeringslijnen gesteld.

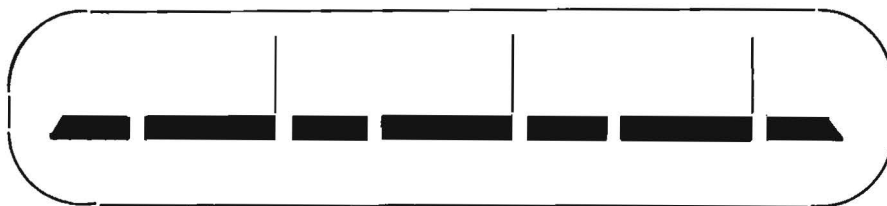


30

Stelmethode 1c (Adjustment method 1c)

In bijlage 3 is berekend, dat de voegbreedte ligt tussen de 15,2 en 27,2 mm.

- 2 Het stellen geschiedt gedeeltelijk met het element nog hangend in de kraan. Voor het overige wordt gebruik gemaakt van handstelgereedschap. Dit verplaatsen met de hand is alleen mogelijk met de relatieflichte hoek- en kolomelementen. Zou men trachten een middenelement te verplaatsen dan zou, doordat het stelgereedschap dan op een licht element moet worden afgezet, juist dit lichte element verschuiven. Resumerend: de kolom- en hoekelementen worden ongeveer op de juiste plaats gezet. De middenelementen worden met één uiteinde ten opzichte van de maatvoeringslijn gesteld. Vervolgens worden de eerstgenoemde elementen met handgereedschap verschoven totdat de voeg links en rechts even groot is.



31

Stelmethode 2 (Adjustment method 2)

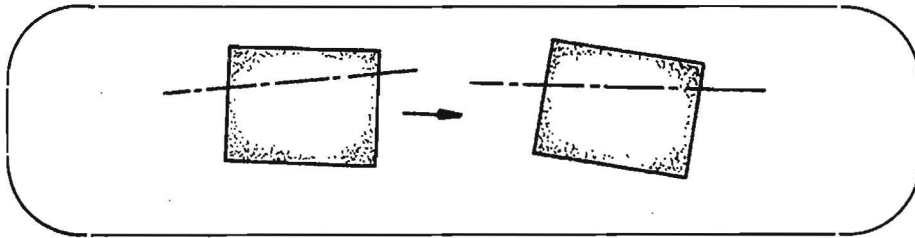
De voegbreedte ligt tussen de 15,8 en 26,6 mm.

De stelmethode volgens variant 2 levert, onder de gedane aannamen, de nauwkeurigste voegbreedte op. In bijlage 3 zijn de passingsformules voor de stelmethoden uitgewerkt.

In het gebouw zijn onder andere met betrekking tot de beschouwde voeg metingen uitgevoerd. Deze metingen vonden plaats voor en na het uitrichten van de gevel (zie ook 3.3 en bijlage 2). De verkregen meetresultaten (tabellen bijlage 2) laten iets opmerkelijks zien. De nauwkeurigheid in de voegbreedte is bij de twee metingen nagenoeg dezelfde. Dit ondanks het feit dat een groot aantal elementen is verschoven met de bedoeling de afwijkingen te verkleinen. De aangebrachte correctie had wellicht achterwege kunnen blijven. De onnauwkeurigheid is bovendien groter dan op grond van de passingsformules van bijlage 3 verwacht had mogen worden. Een foutieve keuze van stelmethode (variant 1a) wordt geacht hiervoor verantwoordelijk te zijn. Arbeidstechnisch gezien is variant 1a het aantrekkelijkst. Deze stelmethode is echter met het oog op de matekwaliteit minder aantrekkelijk. Een goed compromis tussen arbeidstijd en matekwaliteit kan gevonden worden in de stelmethode volgens variant 1b. Wat betreft nauwkeurigheid doet deze variant nauwelijks onder voor variant 2; de steltijd is niet veel groter dan die van variant 1a.

Het voorgaande heeft uitsluitend betrekking op de breedte van de voeg ter plaatse van de oplegging. Over elke andere horizontale doorsnede kan de onnauwkeurigheid in de voegbreedte groter zijn als gevolg van:

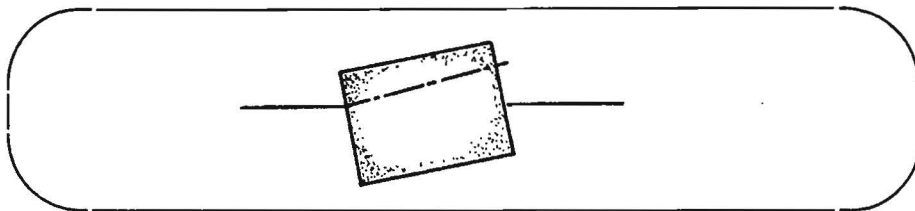
- fabricage-afwijkingen in de elementen. De lijn door de oplegpunten loopt niet evenwijdig aan de onder- of bovenkant;



32

Fabricage-afwijkingen (Deviations of manufacture)

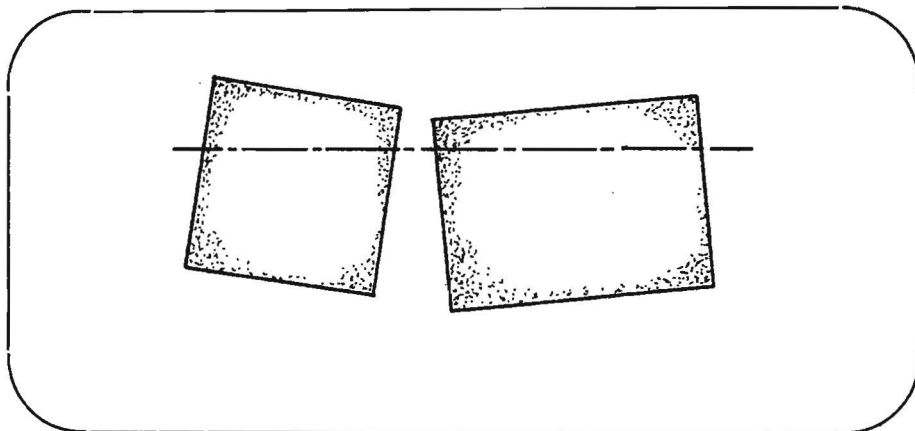
- maatvoerings-afwijkingen in de plaats van de hoogtemoeren ten behoeve van een element.



33

Maatvoerings-afwijkingen (Deviations of setting out)

De invloed van deze afwijkingen op de voegbreedte is het meest merkbaar aan de onderzijde van de voeg.



34

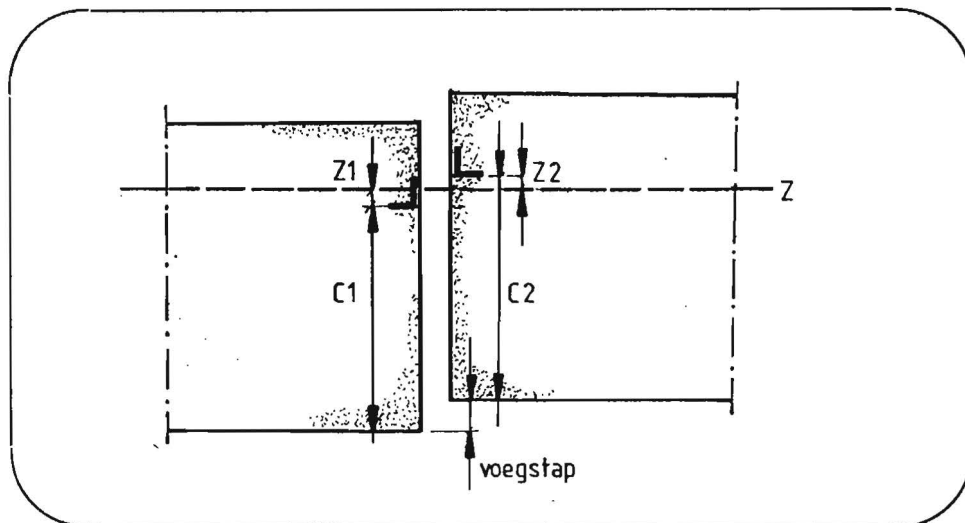
Afwijkingen van de voegbreedte (Deviations of joint width)

Uit bijlage 4 volgt, dat ten gevolge van maatafwijkingen in de elementen en plaatsafwijkingen in de hoogtemoeren de onnauwkeurigheid in de voegbreedte aan de onderzijde groter wordt dan die ter plaatse van de oplegging. In 95 % van de gevallen is de voegbreedte aan de onderzijde van de voeg kleiner dan 29,4 mm en groter dan 13,4 mm (indien variant 1b is toegepast).

4.3 Vertikale voegstap

Indien de onderzijden van twee naast elkaar geplaatste elementen niet in één lijn liggen, is er sprake van een voegstap. Vooral omdat deze aansluiting van binnenuit zichtbaar is, dienen er nauwe toleranties aan deze voegstap te worden gesteld. De voor deze passing van belang zijnde afwijkingen bestaan uit:

- fabricage-afwijkingen in de elementen: de afstand van het oplegpunt in het element tot de onderzijde;
- maatvoeringsafwijkingen in de plaats van de hoogtemoeren van een stelplaat.



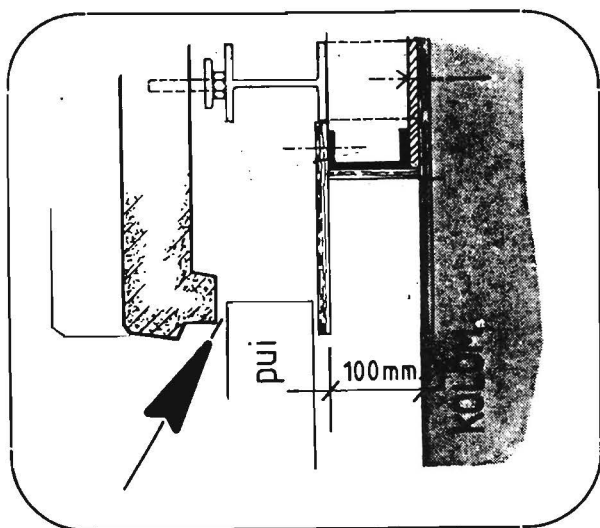
35

Vertikale voegstap (Vertical stepping at joint)

Uit bijlage 5 volgt, dat de plaatsafwijking van de hoogtemoeren een sterke invloed heeft op de grootte van de verticale voegstap aan de onderzijde van de elementen. De nauwkeurigheid in de plaats van de moeren kan echter op een simpele manier, met waterpasinstrument en maatlat, worden vergroot. Het nastellen van de hoogtemoeren dient sterk te worden ontraden, omdat dit zowel invloed heeft op de grootte van de voegstap als op de breedte van de voeg tussen de elementen (zie 4.2).

4.4 Voeg tussen element en aluminium gevelpui

Deze voeg is belangrijk omdat hier niet alleen maatafwijkingen een rol spelen, maar - in tegenstelling tot de behandelde voegen - ook vormafwijkingen zoals scheluwte en kromming. Het bijzondere aan deze voeg is bovendien dat deze moet voldoen aan technisch-functionele eisen terwijl ook de aansluiting van de elementen geen te grote voegstap mag vertonen. Zowel van buitenaf als van binnenuit komt deze aansluiting in het zicht.



36

Aansluiting aluminium gevelpui-element

(Connection between precast unit and aluminium spandrol panel)

Aspecten die bij deze passing een rol spelen zijn:

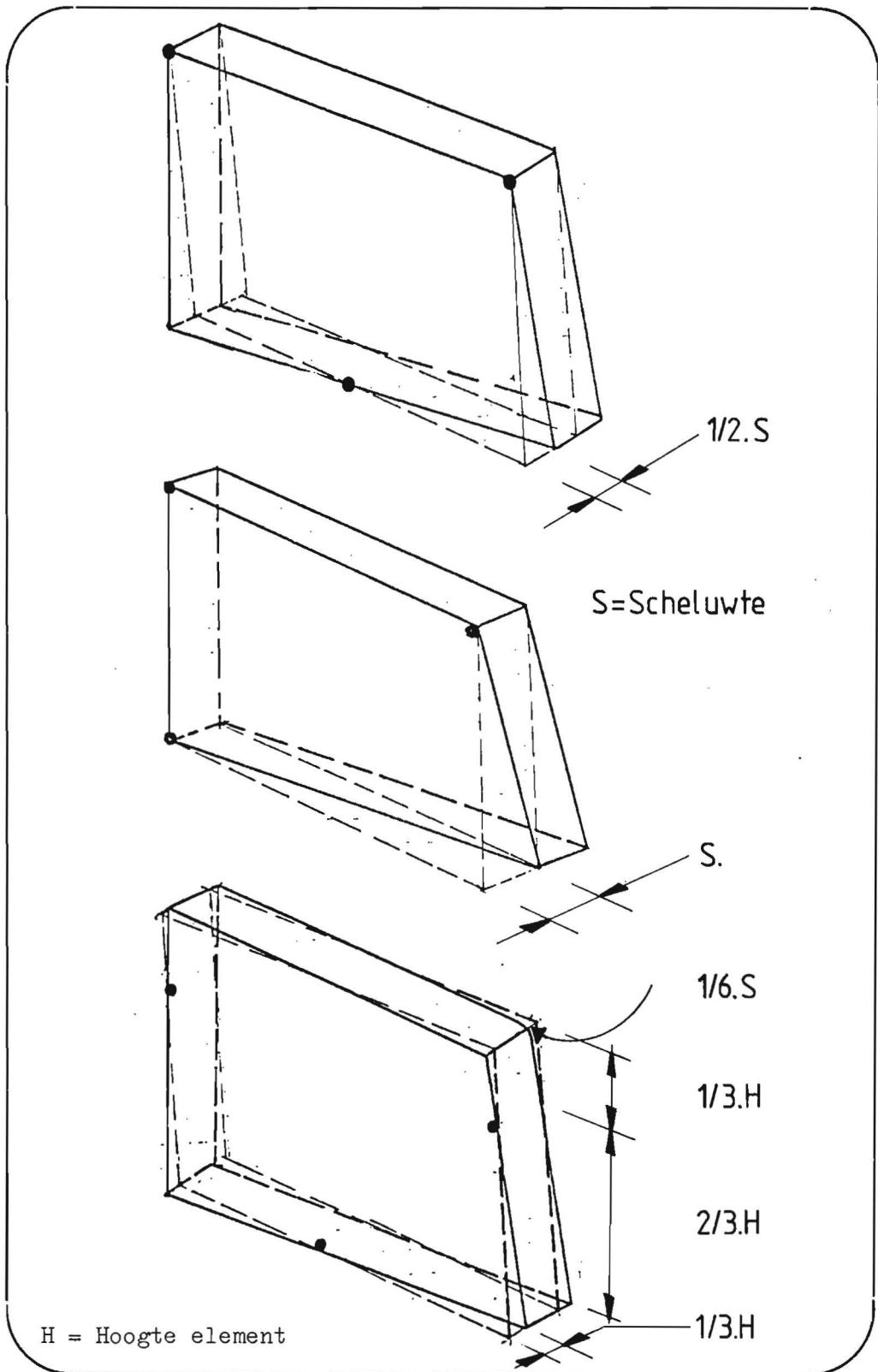
- 1 de stelmethode (deze zijn in par. 4.2 behandeld);
- 2 vormafwijkingen in de elementen, zoals scheluwte en kromming;
- 3 scheefstand van het element.

Scheluwte

Voor de plaatsbepaling van een element in de gevel zijn steeds drie stel- c.q. bevestigingspunten nodig. Door de plaats te variëren waar deze punten in het element aangrijpen, worden ten gevolge van de scheluwte de plaatsafwijkingen in de hoekpunten groter of kleiner.

Zoals in figuur 37 is geschetst, wordt de scheluwte naar één hoekpunt gedirigeerd, indien het element ter plaatse van drie hoekpunten wordt gesteld. Wordt het element aan de onderzijde echter niet bij een hoek gesteld, maar bij een punt op de halve lengte van de plaat, dan blijkt de plaatsafwijking in de beide vrije hoeken gelijk te zijn aan de helft van de totale scheluwte. Indien ook nog de beide bovenste aangrijpingspunten worden verplaatst naar de halve hoogte van het element, dan wordt de plaatsafwijking van elk hoekpunt gelijk aan een vierde van de totale scheluwte. In tussenliggende gevallen varieert de plaatsafwijking van de hoekpunten met de verhouding waarin de aangrijpingspunten de hoogte en de lengte verdelen.

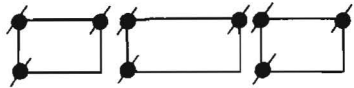
Met deze wetenschap is het dus binnen zekere grenzen mogelijk de plaatsafwijkingen van bepaalde punten van een element ten gevolge van scheluwte te minimaliseren.




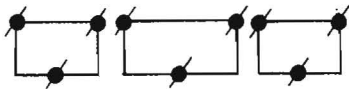
37

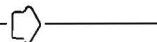
Plaatsafwijking t.g.v scheluwte (Positional deviation due to skew)

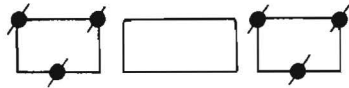
In bijlage 6 worden de consequenties nagegaan van drie verschillende methoden van telood stellen op de grootte van de voegstap en de breedte van de voeg tussen borstwering en de aluminium pui. De drie onderzochte varianten van telood stellen zijn:

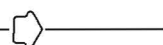


Methode 1 — 



Methode 2 — 



Methode 3 — 

1 Voor een rij elementen wordt steeds het linker- of rechter onderhoekspunt ten opzichte van de draad gesteld. Deze methode is bij dit bouwwerk toegepast.

2 Niet de hoekpunten maar een punt op de halve lengte van het element wordt ten opzichte van de draad gesteld.

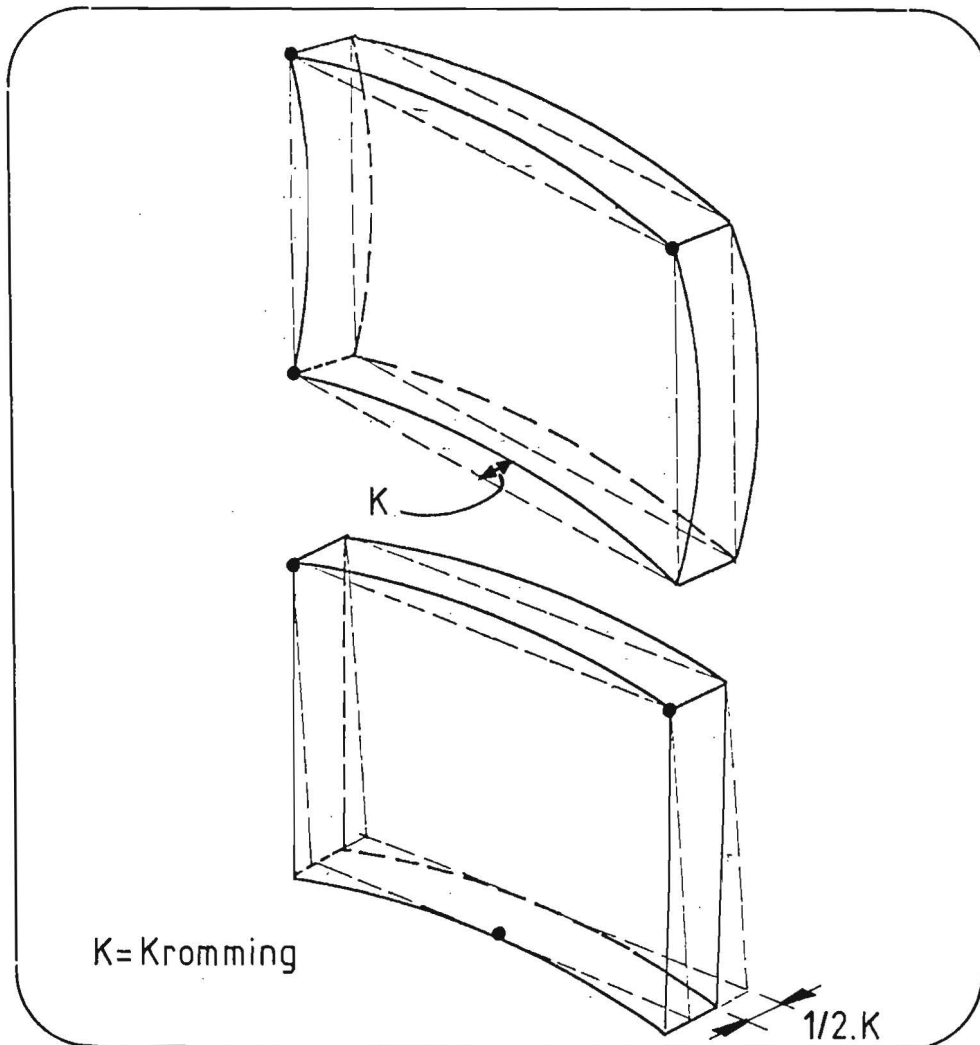
3 Het stellen van een punt op de halve lengte van de kolomelementen. De tussenliggende elementen worden zover naar buiten of naar binnen gedraaid dat de voegstappen in absolute waarde ter linker- en rechterzijde even groot zijn.

Onder aanname dat de enige optredende afwijking in de passing de scheluwte van de elementen is, volgt uit de berekeningen van bijlage 6 dat:

- de voegstap de kleinste spreiding vertoont bij toepassing van de stelmethode volgens variant 3;
- de voegbreedte de kleinste variantie heeft bij toepassing van stelmethode volgens variant 2;
- zowel wat betreft de voegstap als de voegbreedte de stelmethode volgens variant 1 de ongunstigste resultaten geeft.

Kromming

Een tweede soort vormafwijking van plaatvormige elementen is de kromming. Evenals bij scheluwte heeft ook de kromming van elementen invloed op de keuze van de toe te passen stelmethode. Van de drie verschillende stelmethoden variant 1, 2 en 3- zoals die bij scheluwte zijn gebruikt, kan nu ook het effect van kromming op de voegstap en voegbreedte worden bekeken. Dit onder aanname dat kromming de enige onnauwkeurigheid in de passing is.

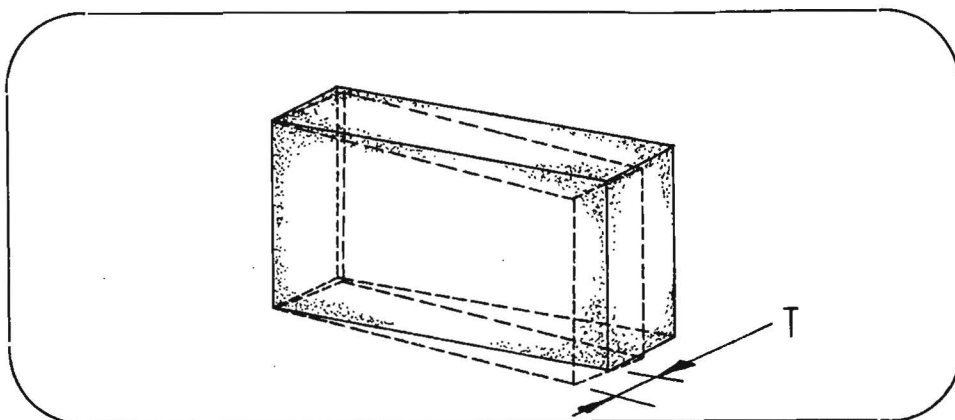


38

Uit de berekeningen (bijlage 7) volgt, dat de stelmethode volgens variant 1 zelfs geen voegstap veroorzaakt en deze samen met variant 2 de nauwkeurigste voeg oplevert.

Scheefstand

Een derde factor die invloed heeft op de grootte van de voegstap en de breedte van de voeg tussen de elementen en de bovendorpel van de aluminium pui, is de scheefstand van het betonelement ten opzichte van de langsstramien.

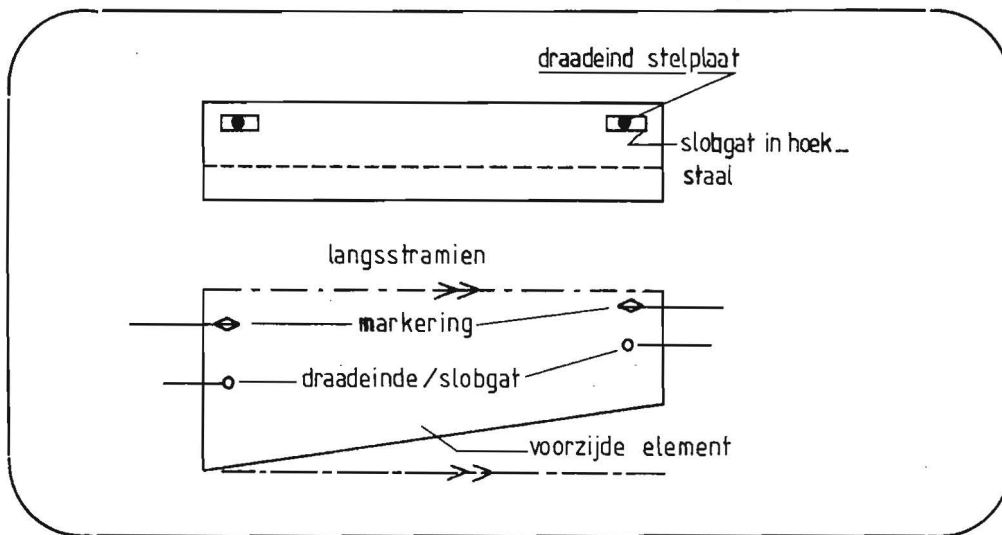


39

Plaatsafwijking t.g.v scheefstand (Positional deviation due to tilting)

Dit niet evenwijdig lopen van de voorzijde van de plaat wordt veroorzaakt door:

- afwijkingen in de plaats van de langsstramien-markeringen;
- afwijkingen in de afstand tussen deze markeringen en het draadeind van de stelplaat;
- afwijking in de afstand tussen het slobgat in het oplegvlak en de voorzijde van het element tot de voorzijde, omdat ten opzichte van deze punten de scheluwte gegeven is.



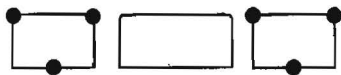
40

Afwijking t.g.v scheefstand (Deviation due to tilting)

Uit de berekeningen van bijlage 8 volgt, dat de conclusies overeenkomstig die van de scheluwte zijn. Ook hier is er van uitgegaan dat de enige optredende onnauwkeurigheid de scheefstand is.

4.5 Scheluwte, kromming en scheefstand

Bij het gelijktijdig voorkomen van scheluwte, kromming en scheefstand blijkt uit bijlage 9:



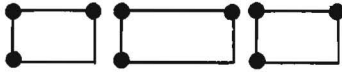
Methode 3 — —




Methode 2 — —

De stelmethode volgens variant 3 de nauwkeurigste voegstap oplevert.

Wordt het stellen volgens variant 2 uitgevoerd, dan levert dit nagenoeg altijd de nauwkeurigste voegbreedte op.



Methode 1 — 

Algemeen kan worden gesteld dat de stelmethode volgens variant 1 praktisch altijd tot de slechtste resultaten leidt.

De keuze van een stelmethode wordt echter niet alleen op bouwmetrologische gronden gemaakt. Ook arbeidstechnisch bezien moet een stelmethode aanvaardbaar zijn. Het stellen van de elementen volgens variant 1 kan door één man worden uitgevoerd omdat het hoekpunt ten opzichte van de draad wordt gesteld en de verstelmogelijkheid, de afdrukbout, daar dichtbij zit. De afdrukbout aan het andere uiteinde dient vooraf te ver te worden ingedraaid. Dit laatste geldt overigens voor elke stelmethode. Toepassing van stelmethode variant 2 vereist twee stellers. Eén om te beoordelen of de afstand tot de draad juist is, de ander voor het verstellen van de afdrukbout. Stelmethode variant 3 vergt, met name voor de middenelementen, een grotere steltijd, omdat deze elementen zover gekanteld moeten worden, totdat de voegstappen links en rechts even groot zijn. Er dient gemeten, gerekend en gesteld te worden. Uitmiddelen op 't oog is onnauwkeurig en bovendien te zeer afhankelijk van de man die het uitvoert.

4.6 Eindconclusie

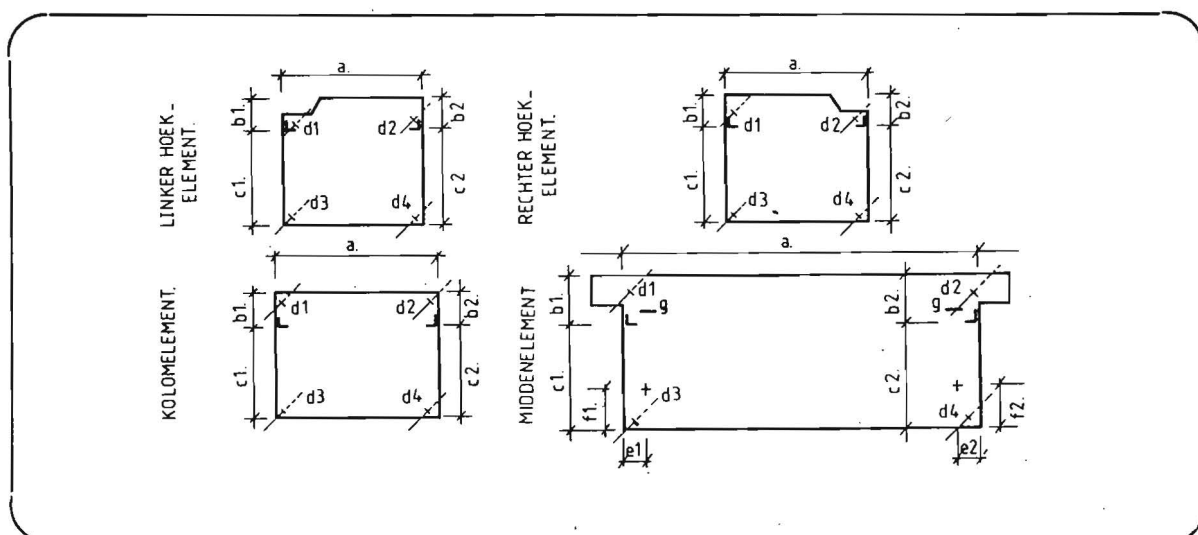
Als we de passingsformle en de arbeidstechniek in acht nemen, is stelmethode 2 een goed compromis. Dit te meer als we de fabricage-nauwkeurigheid van de elementen kennen.

Bijlage 1. De elementen, vorm- en maatkwaliteit

De metingen die op het tasveld aan de gevelelementen zijn uitgevoerd hebben betrekking op de navolgende afmetingen :

- * De lengte van het element ter plaatse van de hoekijzers (a) ;
- * De afstand van de bovenzijde van het element tot het hoekijzer (b1 en b2) ;
- * De afstand van de onderzijde van het element tot het hoekijzer (c1 en c2) ;
- * De dikte van het element ter plaatse van de hoekpunten (d1 ,d2 ,d3 en d4) ;

- * De plaats van de schroefhulzen aan de achterzijde van het element tot de zijkant en onderkant (e1 ,e2 en f1 en f2) ;
- * In de open sparing ,de afstand tussen de haarspelden en het beton (g) ;
- * De scheluwte van het voorvlak van de elementen (s) ;
- * De kromming van het voorvlak van de elementen.(k) .



Overzicht van de meetpunten

De betekenis van de letters in de eerste kolom van de navolgende tabellen is:

N	= Normmaat.	s	= Standaardafwijking.
n	= Aantal waarnemingen.	d max.	= Extreme afwijking
m	= Gemiddelde afwijking.	d min.	
		t.w.w.	= Te weinig waarnemingen.

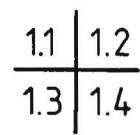
Volgen de tabellen 1.1 en 1.2 waarin de resultaten van respectievelijk de scheluwte en de kromming zijn ondergebracht. De tabellen 1.3 en 1.4 geven de resultaten van de hoofdafmetingen (a ,b1 ,b2 ,c1 ,c2 , b1 + c1 en b2 + c2) en de dikte van de elementen.

No en type	101 Hoekel.	102 Kolonnel.	103 Hoekel.	202 Mid.el.
n	8	12	8	20
m	-2,4	-1,2	-0,6	-1,7
s	2	3	1,3	5,7
d max.	1	3	1	8
d min.	-6	-8	-3	-16

Type 202	Boven	Onder	Verschl
n	10	10	10
m	-1,5	0,6	-2,1
s	2,4	1,2	2,4
d max.	2,5	2,5	1,5
d min.	-4,5	-1,5	-4,5

No en type	101 Hoekel.	102 Kolonnel.	103 Hoekel.	202 Mid.el.
b	1920	2380	1920	4780
n	8	12	7	20
m	0,8	-4,3	-1,7	1,9
s	2,9	2,1	1,6	3,4
d max.	7	-1	1	8
d min.	-2	-8	-4	-5
b1	t.w.w.	280	280	680
n		12	7	20
m		-0,7	-1	2,6
s		1,2	0,8	1,2
d max.		1	0	5
d min.		-2	-2	0
b2	280	280		680
n	8	12		20
m	-0,3	-1,5	t.w.w.	1,7
s	1,2	1		1,5
d max.	2	0		4
d min.	-2	-4		0
c1		1590	1590	1590
n		12	8	20
m		0,5	2,8	-1,2
s	t.w.w.	2,5	1,3	1,9
d max.		4	5	3
d min.		-4	1	-5
c2	1590	1590		1590
n	8	12		20
m	1,3	0,8	t.w.w.	-0,2
s	1,7	1,4		1,5
d max.	4	3		2
d min.	-1	-1		-3
b1+c1		1870		2270
n		12		18
m		-0,2		1,4
s	t.w.w.	2,9	t.w.w.	2,1
d max.		4		6
d min.		-5		-3
b2+c2		1870		2270
n		12		18
m		-0,8		1,4
s	t.w.w.	1,6	t.w.w.	1,6
d max.		2		4
d min.		-4		-1

No en type	101 Hoekel.	102 Kolonnel.	103 Hoekel.	202 Mid.el.
d1		580	380	280
n		12	8	20
m	t.w.w.	1	1,5	0,7
s		1,5	2,9	2
d max.		3	7	6
d min.		-2	-1	-3
d2	380	380		280
n	8	12		20
m	1,8	-1,2		1,8
s	1,2	2,8	t.w.w.	1,2
d max.	3	6		3
d min.	-1	-6		0
d3		285	285	185
n		12	8	20
m	t.w.w.	3,1	2,3	-0,6
s		3,1	1,8	2
d max.		11	5	5
d min.		0	0	-4
d4	285	285		185
n	8	12		20
m	-0,4	2,6		0,3
s	2,8	2	t.w.w.	1,6
d max.	3	7		3
d min.	-5	0		-3



- 1.1 Scheluwte in voorvlak van de elementen
- 1.2 Kromming van langste zijde tussenelementen aan voorzijde
- 1.3 Hoofdafmetingen
- 1.4 Dikte van de elementen

- 1.1 Skew in front face of units
- 1.2 Curvature of longer edge of intermediate elements on front
- 1.3 Main dimensions
- 1.4 Thickness of units

Bijlage 2. Meetresultaten van het uitrichten van de gevel

De betekenis van de letters in de eerste kolom van de navolgende tabellen is:

N	= Normmaat.	s	= Standaardafwijking
n	= Aantal waarnemingen.	d max.	= Extreme afwijking.
m	= Gemiddelde afwijking	d min.	
		t.w.w.	= Te weinig waarnemingen.

Voegbreedte		Voor uitrichten	Na uitrichten	Verplaatsing
7e + 8e	n	36	36	18
verd.	m	21,1	21	3,6
	s	3,9	4	2

2.1 Voegbreedte tussen de elementen

(Width of joint between units)

De grootte van de voegstappen en de onnauwkeurigheid in de breedte van de voeg tussen de elementen en de pui staan in onderstaande tabellen gegeven.

V	Middenelement links	Middenelement rechts	Kolomelement links	Kolomelement rechts
n	18	18	12	12
m	1	1,2	0,3	0,9
s	3,2	6	3,7	3,9
d max.	+9	+12	+7	+6
d min.	-4	-8	-5	-6

2.2 Voeg tussen element en pui

(Joint between precast unit and spandrel)

V S	Binnen bovenzijde	Binnen onderzijde	Buiten bovenzijde	Buiten onderzijde
n	36	36	36	36
m	0,9	0	1,3	0,1
s	3,2	3,3	3,7	5,8
d max.	+6	+10	+9	+11
d min.	-7	-6	-7	-11

2.3 Horizontale voegstap

(Horizontal stepping at joint)

Voegstappen		Na uitrichten	Voor uitrichten
8 ^e verd. bovenzijde	n	18	18
	m	-0,4	-0,9
	s	5,4	4,9
	d max.	8	9
	d min.	-12	-8
8 ^e verd. onderzijde	n	18	18
	m	0,3	0,8
	s	4	3,7
	d max.	7	7
	d min.	-7	-6
7 ^e verd. bovenzijde	n	18	
	m	-2,4	
	s	5,2	
	d max.	6	
	d min.	-11	
7 ^e verd. onderzijde	n	18	
	m	-2,4	
	s	3,6	
	d max.	4	
	d min.	-9	

2.4 Vertikale voegstappen

Ligging hoogtemoeren		Na uitrichten	Voor uitrichten
8 ^e verd.	n	36	36
	m	-2,9	0,1
	s	2,9	2,4
	d max.	4	6
	d min.	-7	-5
7 ^e verd.	n	36	
	m	1,7	
	s	2,7	
	d max.	10	
	d min.	-1	

2.5 Plaatsafwijking hoogtemoeren

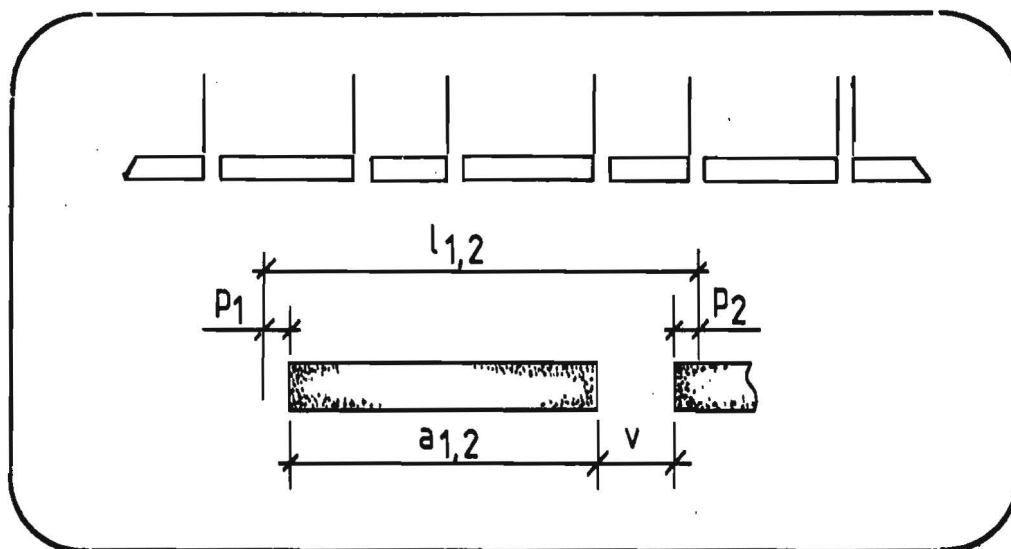
(Position deviation of height adjustment nuts)

Bijlage 3. Relatie stelmethode - voegbreedte

In de navolgende figuren hebben de daarin gebruikte letters de volgende betekenis:

- * l = Afstand tussen maatvoeringslijnen
(l_1 = afwijking, $\mu=0$, l_1 = tussenelement, l_2 = kolomelement en $\sigma_{l_1}^2 = \sigma_{l_2}^2$)
- * a = Lengte van het element
(a_1 = afwijking, a_1 = tussenelement en a_2 = kolomelement)
- * v = Voegbreedte
(v = normbreedte van de voeg : 20mm)
- * p = Plaatsingsafwijking
($\mu=0$)
- * c = Centreerafwijking
($\mu=0$)

Onderstaande figuur is een schematische weergave van stelmethode 1a. Bij deze methode worden de elementen met een uiteinde ten opzichte van een maatvoeringslijn gesteld.

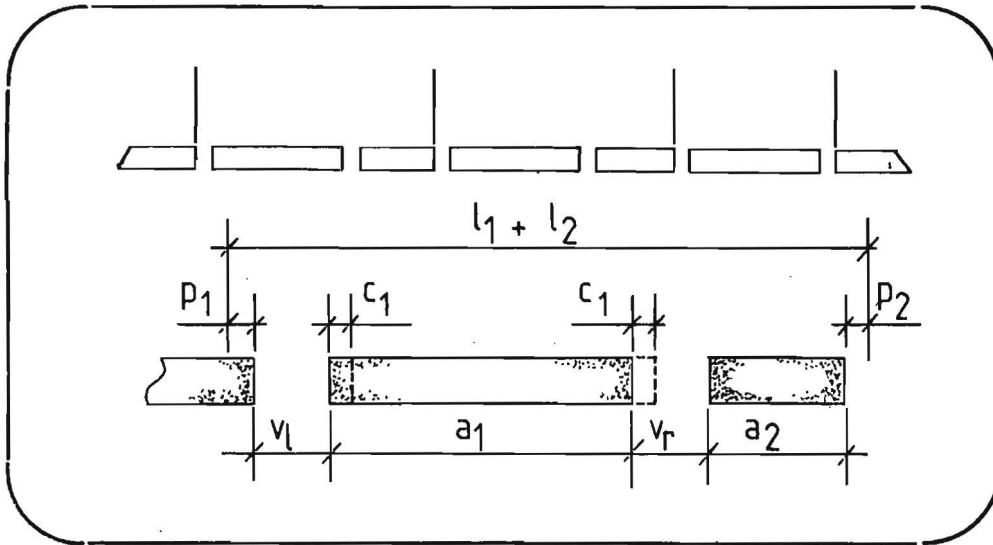


$$v = l - a - p_1 - p_2$$

$$\begin{aligned} \mu_v &= V_n - \mu a'_1 & \text{of} & & \mu_v &= V_n - \mu a'_2 \\ \sigma_v^2 &= \sigma_p^2 + \sigma_{a_1}^2 + 2\sigma_p^2 & \text{of} & & \sigma_v^2 &= \sigma_p^2 + \sigma_{a_2}^2 + 2\sigma_p^2 \end{aligned}$$

Schematische weergave van de stelmethode volgens variant 1 b.

De hoek- en kolomelementen worden gesteld. De tussen elementen worden met de kraan gecentreerd.



$$v_l + v_r = l_1 + l_2 - a_1 - a_2 - p_1 - p_2$$

$$\mu_{v_l+v_r} = 2\mu_{v_l} - \mu_{a_1} - \mu_{a_2} \quad \sigma_{v_l+v_r}^2 = 2\sigma_{v_l}^2 + \sigma_{a_1}^2 + \sigma_{a_2}^2 + 2\sigma_p^2 = \sigma_{2v}^2$$

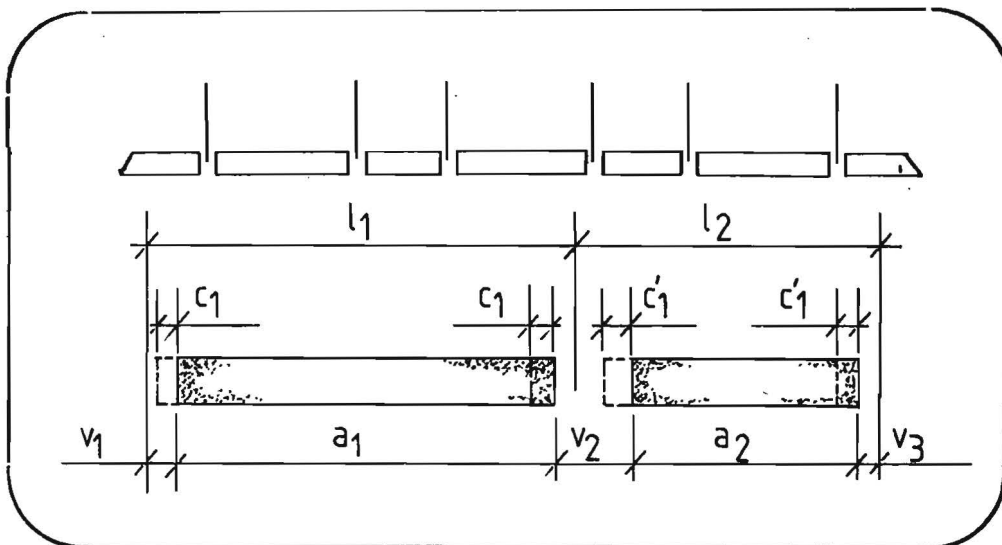
$$\mu_v = \mu_{v_l} - \frac{1}{2}\mu_{a_1} - \frac{1}{2}\mu_{a_2}$$

Ten gevolge van de excentrische plaatsing van het element in de opening dient de variantie van de voegbreedte te worden vermeerderd met $\sigma_{c_1}^2$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}\sigma_{v_l}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a_1}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a_2}^2 + \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \sigma_{c_1}^2$$

Schematische weergave van de stelmethode variant 1 c.

De elementen worden, hangend in de kraan, centrisc t.a.v. twee maatvoeringslijnen gesteld.



$$v_1 + v_2 + v_3 = l_1 + l_2 - a_1 - a_2 = 2v$$

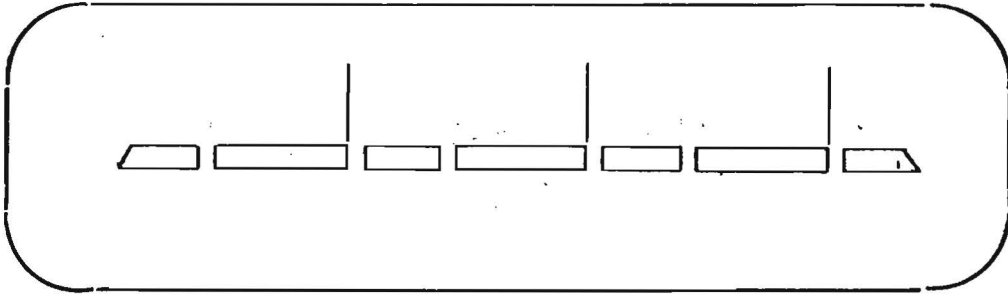
$$\mu_v = \mu_{v_1} - \frac{1}{2}\mu_{a_1} - \frac{1}{2}\mu_{a_2} \quad \sigma_{2v}^2 = 2\sigma_{v_1}^2 + \sigma_{a_1}^2 + \sigma_{a_2}^2$$

Ten gevolge van de excentrische plaatsing wordt de variantie voor de voegbreedte vermeerderd met $2\sigma_{c_1}^2$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a_1}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a_2}^2 + 2\sigma_{c_1}^2$$

Schematische weergave van de stelmethode variant 2.

De middenelementen worden met één uiteinde gesteld, in de kraan. Dekolomelementen worden met de hand gecentreerd.



De passingsformules voor variant 2 a zijn dezelfde als die van variant 1b. Alleen c wordt vervangen door c_2 omdat het centreren met de hand wezenlijk verschilt van het centreren met de kraan. De kraan behoeft niet te wachten.

Variant

$$1a : \mu_v = v_\eta - \mu_{a'_{1,2}}$$

$$\sigma_v^2 = \sigma_p^2 + \sigma_{a'_{1,2}}^2 + 2\sigma_p^2$$

$$1b : \mu_v = v_\eta - \frac{1}{2}\mu_{a'_1} - \frac{1}{2}\mu_{a'_2}$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_1}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_2}^2 + \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \sigma_{c_1}^2$$

$$1c : \mu_v = v_\eta - \frac{1}{2}\mu_{a'_1} - \frac{1}{2}\mu_{a'_2}$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_1}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_2}^2 + 2\sigma_{c_2}^2$$

$$2 : \mu_v = v_\eta - \frac{1}{2}\mu_{a'_1} - \frac{1}{2}\mu_{a'_2}$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_1}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{a'_2}^2 + \frac{1}{2}\sigma_p^2 + \sigma_{c_2}^2$$

Uit de nametingen is gebleken:

$$\text{Middenelementen} : \mu_{a'_1} = 1,9 \quad \sigma_{a'_1}^2 = 13,6$$

$$\text{Kolomelement} : \mu_{a'_2} = -4,3 \quad \sigma_{a'_2}^2 = 4,4$$

Verder wordt aangenomen dat:

$$\text{T.a.v. Plaatsing} : \sigma_p^2 = 2$$

$$\text{T.a.v. centrisch plaatsen met de kraan} : \sigma_{c_1}^2 = 2$$

$$\text{T.a.v. centrisch plaatsen "met de hand"} : \sigma_{c_2}^2 = 1$$

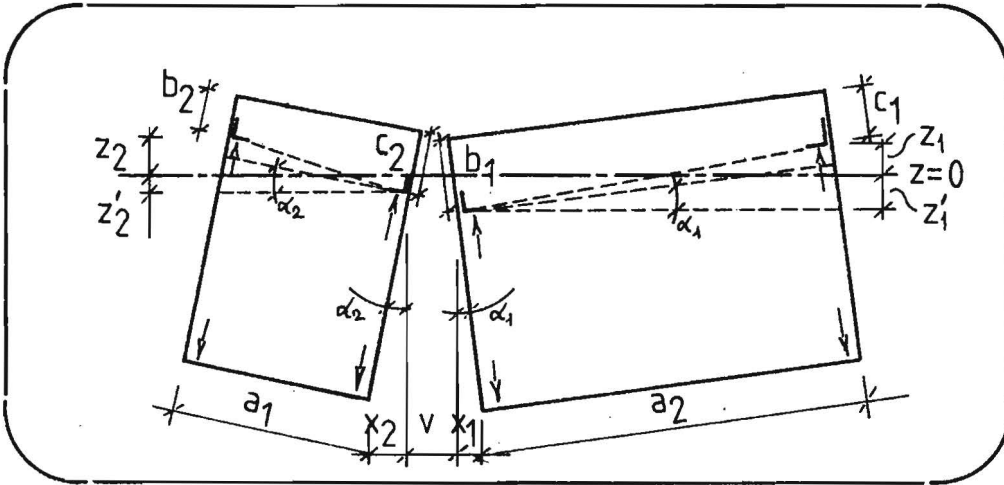
$$\text{Afstand tussen de maatvoeringslijnen} : \sigma_{p'_{1,2}}^2 = 2$$

Variant

1a	: $\mu_v = 18,1$ of $24,3$	$\sigma_v^2 = 19,6$ of $10,4$	$9,4 \leq v \leq 30,6$
1b	: $\mu_v = 21,2$	$\sigma_v^2 = 8,5$	$15,5 \leq v \leq 26,9$
1c	: $\mu_v = 21,2$	$\sigma_v^2 = 9,5$	$15,2 \leq v \leq 27,2$
2	: $\mu_v = 21,2$	$\sigma_v^2 = 7,5$	$15,8 \leq v \leq 26,6$ (95% gebied).

In 95 % van de gevallen ligt de voegbreedte tussen de aangegeven waarden.

Bijlage 4. Voegbreedte onderzijde elementen



b, c = Afstand van het oplegvlak in het element tot de bovenzijde
(b', c' = afwijking)

a = Normlengte van de borstweringen

a_1 = middenelement, a_2 = kolomelement

h = Normafstand tussen oplegvlak en onderzijde

z = Plaatsafwijking van de hoogtemoeren

v = Voegbreedte

v_n = Normvoeg = 20 mm.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{1}{a_1} \{ (z_1 - z_1') - (b_1 - c_1) \}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{1}{a_2} \{ (z_2 - z_2') - (c_2 - b_2) \}$$

$$x_1 = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$x_2 = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_2$$

$$x_1 = \frac{h}{a_1} (z_1 - z_1' - b_1 + c_1) \frac{h}{a_1} = \frac{1}{3}$$

$$x_2 = \frac{h}{a_2} (z_2 - z_2' - c_2 + b_2) \frac{h}{a_2} = \frac{2}{3}$$

$$\mu_{x_1} = -\frac{1}{3} \mu_{b_1'} + \frac{1}{3} \mu_{c_1'}$$

$$\mu_{x_2} = \frac{2}{3} \mu_{b_2'} - \frac{2}{3} \mu_{c_2'}$$

$$\sigma_{x_1}^2 = \frac{2}{9} \sigma_z^2 + \frac{1}{9} \sigma_{b_1}^2 + \frac{1}{9} \sigma_{c_1}^2$$

$$\sigma_{x_2}^2 = \frac{8}{9} \sigma_z^2 + \frac{4}{9} \sigma_{b_2}^2 + \frac{4}{9} \sigma_{c_2}^2$$

Uit de meetresultaten

$$\mu_{b_1'} = 2,6$$

$$\mu_{b_2'} = -0,7$$

$$\mu_{c_1'} = 1,7$$

$$\mu_{c_2'} = -1,5$$

$$\sigma_{b_{1,2}}^2 = 1,4$$

$$\sigma_{b_2}^2 = 1,4$$

$$\sigma_{c_1}^2 = 2,3$$

$$\sigma_{c_2}^2 = 1$$

$$\sigma_z^2 = 5,8$$

Voeg t.p.v. de oplegging (variant 1b) $\mu_v = 21,2$ en $\sigma_v^2 = 8,5$.

Voeg aan de onderzijde V_0 :

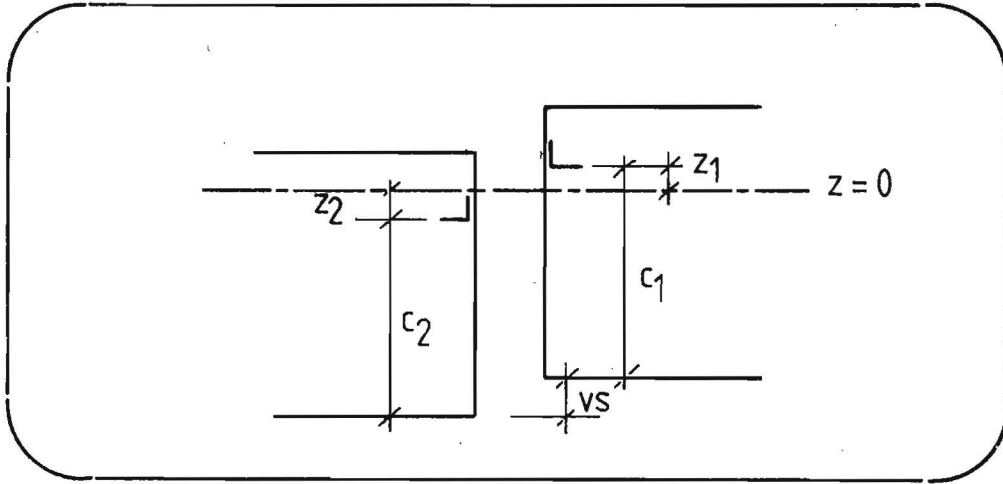
$$\mu_{V_0} = 21,2 + \mu_{x_1} + \mu_{x_2} = 21,2 - 0,9 + 0,6 - 0,5 + 1 = 21,4 \text{ mm.}$$

$$\sigma_{V_0}^2 = 8,5 + \sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 = 8,5 + 1,3 + 0,2 + 0,3 + 5,2 + 0,6 + 0,4 = 16,5 \text{ mm}^2.$$

$$\sigma_{V_0} = 4,1.$$

In 95 % van de gevallen ligt de voegbreedte aan de onderzijde (gesteld volgens variant 1b) tussen 13,4 en 29,4 mm.

Bijlage 5. Vertikale voegstap onderzijde elementen



- c : Afstand tussen het oplegvlak en de onderzijde van de elementen
 (c^1 = afwijking)
 z : Plaatsafwijking van de hoogtemoeren
 vs : Voegstap

Tekenafpraak:

$vs = \text{positief}$ $vs = (c_2 - z_2) - (c_1 - z_1)$
 $vs = c_2 - c_1 + z_1 - z_2$

$vs = \text{negatief}$ $\mu_{vs} = \mu_{c_2} - \mu_{c_1}$
 $\sigma_{vs}^2 = \sigma_{c_2}^2 + \sigma_{c_1}^2 + 2\sigma_z^2$

Er onderscheiden zich twee situaties:

	meetuitkomsten	
1. Kolomelement links	$\mu_{c_1} = -1,2$	$\sigma_{c_1}^2 = 3,6$
Middenelement rechts	$\mu_{c_2} = 0,8$	$\sigma_{c_2}^2 = 2$
2. Kolomelement rechts	$\mu_{c_1} = 0,5$	$\sigma_{c_1}^2 = 6,3$
Middenelement rechts	$\mu_{c_2} = -0,2$	$\sigma_{c_2}^2 = 2,3$
Plaatsafwijking hoogtehoeken		$\sigma_z^2 = 5,8$

ad. 1. $\mu_{vs} = 0,8 + 1,2 = 2$
 $\sigma_{vs}^2 = 2 + 3,6 + 11,6 = 17,2$ $\sigma_{vs} = 4,1$

ad. 2. $\mu_{vs} = -0,2 - 0,5 = -0,7$
 $\sigma_{vs}^2 = 2,3 + 6,3 + 11,6 = 20,2$ $\sigma_{vs} = 4,5$

Indien de situaties 1 en 2 elk 50 % voorkomen.
 Dan geldt in 95 % van de gevallen $-9,5 \leq vs \leq 10$
 Stel: $\sigma_z^2 = 1$ dan geldt $-7,2 \leq vs \leq 7,5$

Is de tolerantie voor de voegstap vastgesteld

op 0_{-6}^{+6} mm dan is het uitvalspercentage

voor $\sigma_z^2 = 1 \rightarrow \text{ca. } 12\%$





voor $\sigma_z^2 = 5,8 \rightarrow \text{ca. } 19\%$

Bijlage 6. Scheluwte

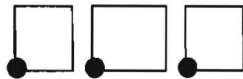
In de situatie van de elementen liggen twee van de drie stelpunten reeds vast. Dit zijn de aangrijpingspunten van de stelplaten in het element indien de voorgenomen stelmethode gevolgd zou zijn, ofwel twee punten aan de voorzijde van de plaat ten opzichte waarvan deze aan de draad is gesteld.

Voor de keuze van het derde stelpunt, t.b.v. het "teloodstellen" is dit onderscheid van ondergeschikt belang.

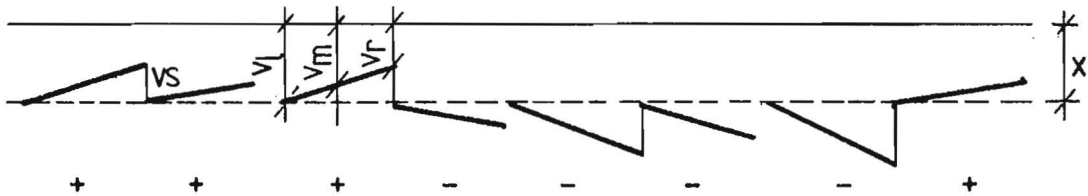
In het volgende worden de consequenties nagegaan van drie min of meer verschillende methoden van teloodstellen op de grootte van de voegstap en de breedte van de voeg tussen de borstwering en de aluminium pui. De figuren geven schematisch een horizontale doorsnede aan de onderzijde van de elementen.

Tekenafspraken:  S = positief  S = negatief
 VS = positief  VS = negatief

Variant 1



Voor een rij elementen wordt steeds het linker- of rechter onderhoekpunt t.o.v. een draad gesteld. Deze methode is bij dit bouwwerk toegepast.

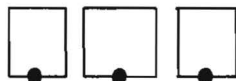


In de figuur zijn alle combinaties van twee elementen weergegeven, er vanuitgaande dat steeds het linker hoekpunt aan de draad wordt gesteld.

Voor de voegstap geldt in alle gevallen: $VS = S$

Voor de voegbreedte geldt: $V_{links} = x$
 $V_{midden} = x - \frac{1}{2} \cdot S$
 $V_{rechts} = x - S$

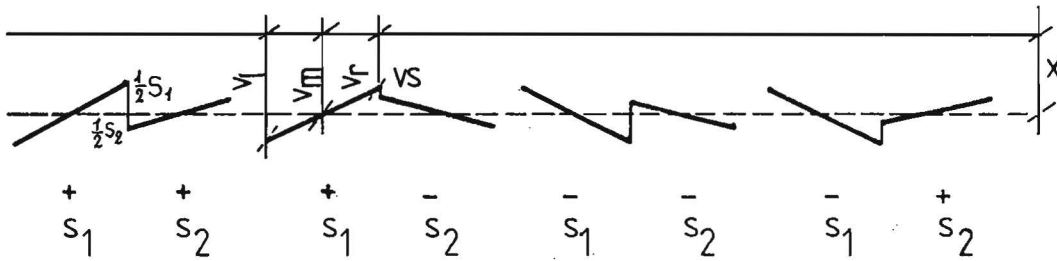
Variant 2



Een tweede stelmethode is die waarbij niet een van de hoekpunten maar een punt op de halve lengte van het element t.o.v. de draad wordt gesteld.

De plaatsafwijking van de hoekpunten is slechts de helft van die bij de vorige variant.

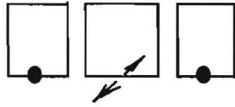
Nagenoeg eenzelfde resultaat wordt bereikt met het teloodstellen op dezelfde plaats m.b.v. een waterpas of schietlood.



Voor de voegstap geldt : $VS = \frac{1}{2}S_1 + \frac{1}{2}S_2$.

Voor de voegbreedte geldt: $V_{links} = \mathcal{X} + \frac{1}{2} \cdot S$
 $V_{midden} = \mathcal{X}$
 $V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{2} \cdot S$.

Variant 3

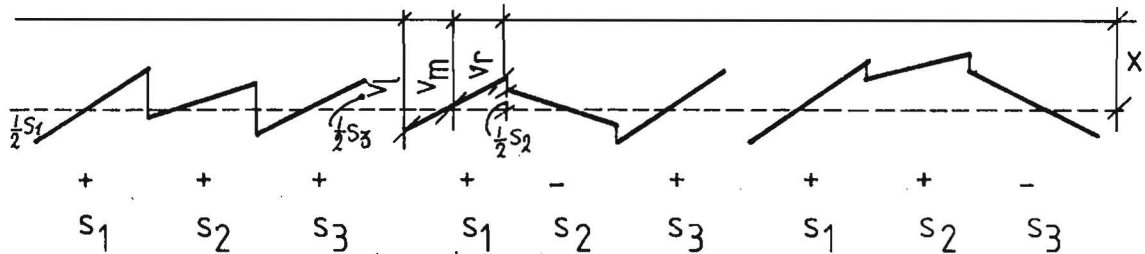


Variant 3 bestaat uit het stellen van een punt op halve lengte van de kolomelementen t.o.v. de langsstramen of uit het teloodstellen m.b.v. waterpas of schietlood.

Het stellen t.o.v. het langsstramen kan rechtstreeks gebeuren vanuit de makering op de achterliggende kolom of aan de hand van een gespannen draad.

De tussenliggende elementen worden zover naar binnen of naar buiten gedraaid totdat de voegstappen, in absolute waarde, ter linker- en rechterzijde even groot zijn.

Een en ander staat systematisch weergegeven in onderstaande figuur.



Voor de voegstappen geldt: $V_s = \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$

Voor de voegbreedte achter een element geldt:

Kolomelement : $V_{links} = \mathcal{X} + \frac{1}{2}S$.

$V_{midden} = \mathcal{X}$

$V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}S$.

Midden element : $V_{links} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$.

$V_{midden} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{4}S_3$

$V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 - \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$

Stel de variantie van de scheluwte in de diverse elementen is gelijk aan σ_s^2 .

Voegstap

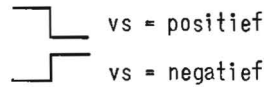
Variant 1	$VS = S$	$\sigma_{VS}^2 = \sigma_s^2$
2	$VS = \frac{1}{2}S_1 + \frac{1}{2}S_2$	$\sigma_{VS}^2 = \frac{1}{2}\sigma_s^2$
3	$VS = \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$	$\sigma_{VS}^2 = \frac{3}{8}\sigma_s^2$

Voegbreedte

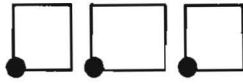
Variant 1	$V_{links} = x$	$\sigma_V^2 = 0$
	$V_{midden} = x - \frac{1}{2}S$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_s^2$
	$V_{rechts} = x - S$	$\sigma_V^2 = \sigma_s^2$
Variant 2	$V_{links} = x + \frac{1}{2}S$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_s^2$
	$V_{midden} = x$	$\sigma_V^2 = 0$
	$V_{rechts} = x - \frac{1}{2}S$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_s^2$
Variant 3		
Kolomelem.	$V_{links} = x + \frac{1}{2}S$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_s^2$
	$V_{midden} = x$	$\sigma_V^2 = 0$
	$V_{rechts} = x - \frac{1}{2}S$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_s^2$
Middenelem.	$V_{links} = x - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$	$\sigma_V^2 = \frac{3}{8}\sigma_s^2$
	$V_{midden} = x - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{4}S_3$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{8}\sigma_s^2$
	$V_{rechts} = x - \frac{1}{4}S_1 - \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3$	$\sigma_V^2 = \frac{3}{8}\sigma_s^2$

Bijlage 7. Kromming

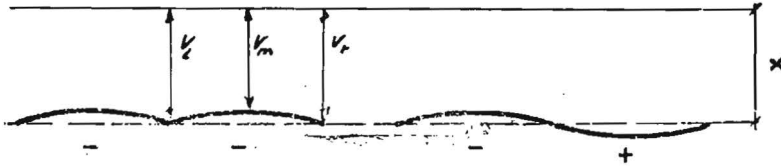
Tekenafspraken  $K = \text{negatief}$
 $K = \text{positief}$

 $vs = \text{positief}$
 $vs = \text{negatief}$

Variant 1



Van het element wordt steeds het linker of rechter hoekpunt t.o.v. de draad gesteld.



Voor de voegstap in alle gevallen:

$$vs = 0.$$

Voor de voegbreedte achter één element geldt:

$$V_{\text{links}} = \mathcal{X}.$$

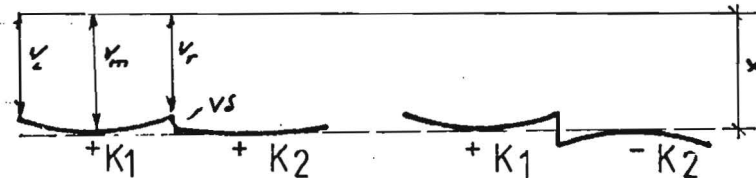
$$V_{\text{midden}} = \mathcal{X} + K.$$

$$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X}.$$

Variant 2



Het element wordt op halve lengte t.o.v. de draad gesteld.



Voor de voegstap in alle gevallen:

$$vs = K_1 - K_2.$$

Voor de voegbreedte geldt:

$$V_{\text{links}} = \mathcal{X} - K_1.$$

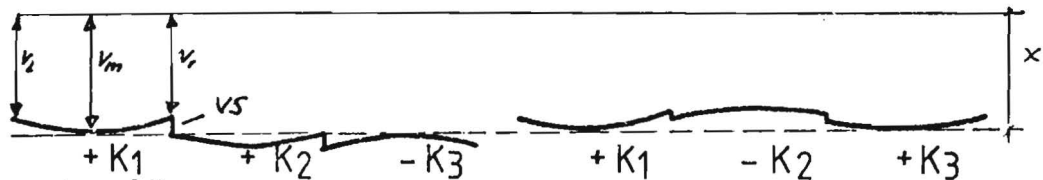
$$V_{\text{midden}} = \mathcal{X}.$$

$$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - K_2.$$

Variant 3



De kolomelementen worden op halve lengte t.o.v. de draad gesteld. De middenelementen worden zover gekanteld totdat de voegstappen, in absolute waarde, ter plaatse van de beide uiteinden aan elkaar gelijk zijn.



Voor de voegstap geldt:

$$vs = \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3$$

Voor de voeg geldt:

Kolomelement : : $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - K.$
 $V_{\text{midden}} = \mathcal{X}$
 $V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - K.$

Middonelem. : $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3.$
 $V_{\text{midden}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 + K_2 - \frac{1}{2}K_3.$
 $V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3.$

Stel, de variantie van de kromming in de elementen is voor beide typen gelijk aan

$$\sigma_K^2.$$

Voegstap

Variant 1 $V_S = 0.$

$$\sigma_{V_S}^2 = 0.$$

„ 2 $V_S = K_1 - K_2.$

$$\sigma_{V_S}^2 = 2 \sigma_K^2.$$

„ 3 $V_S = \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3.$

$$\sigma_{V_S}^2 = \frac{1}{2} \sigma_K^2.$$

Voegbreedte

Variant 1 $V_{\text{links}} = \mathcal{X}.$

$$\sigma_V^2 = 0.$$

$V_{\text{midden}} = \mathcal{X} + K.$

$$\sigma_V^2 = \sigma_K^2.$$

$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X}.$

$$\sigma_V^2 = 0.$$

„ 2 $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - K.$

$$\sigma_V^2 = \sigma_K^2.$$

$V_{\text{midden}} = \mathcal{X}.$

$$\sigma_V^2 = 0.$$

$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - K.$

$$\sigma_V^2 = \sigma_K^2.$$

„ 3 kolomelem. $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - K.$

$$\sigma_V^2 = \sigma_K^2.$$

$V_{\text{midden}} = \mathcal{X}.$

$$\sigma_V^2 = 0.$$

$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - K.$

$$\sigma_V^2 = \sigma_K^2.$$

Middenlem. $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3.$

$$\sigma_V^2 = \frac{1}{2} \sigma_K^2.$$

$V_{\text{midden}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 + K_2 - \frac{1}{2}K_3.$

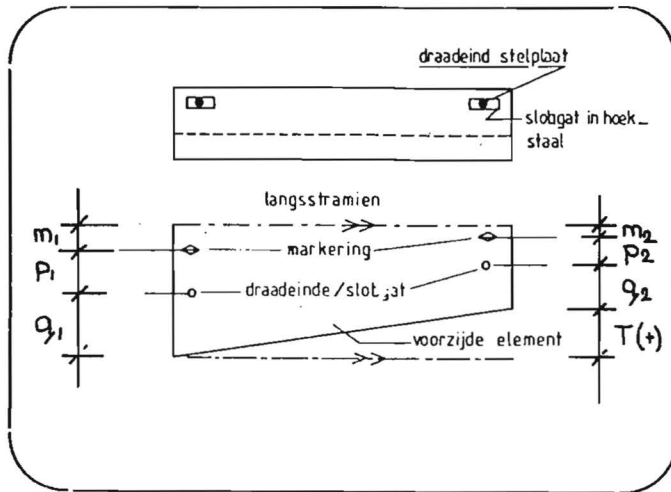
$$\sigma_V^2 = \frac{3}{2} \sigma_K^2.$$

$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3.$

$$\sigma_V^2 = \frac{1}{2} \sigma_K^2.$$

Bijlage 8. Scheefstand

De invloed die deze scheefstand op de beschouwde voeg heeft, is in combinatie met de stelmethoden variant 1, 2 en 3. De passingsformules komen overeen met die in bijlage 6 "Scheluwte".



m = Plaatsafwijking van de markering van het langsstramien
 p = Afstand tussen de markering en het draadeind van de stelplaat
 q = Afstand tussen het "slotgat" en de voorzijde van het element
 T = Scheefstand

$$T = m_1 + p_1 + q_1 - m_2 - p_2 - q_2 \quad \sigma_T^2 = 2\sigma_m^2 + 2\sigma_p^2 + 2\sigma_q^2$$

De formules, met de scheefstand T als enige onnauwkeurigheid, zijn dan als volgt: (stel, de variantie van de onevenwijdigheid voor de diverse borstweringen is gelijk aan σ_T^2).

Voegstap

Variant 1	$VS = T.$	$\sigma_{VS}^2 = \sigma_T^2.$
	$VS = \frac{1}{2}T_1 + \frac{1}{2}T_2.$	$\sigma_{VS}^2 = \frac{1}{2}\sigma_T^2.$
	$VS = \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{4}T_3.$	$\sigma_{VS}^2 = \frac{3}{8}\sigma_T^2.$

Voegbreedte

Variant 1	$V_{links} = x.$	$\sigma_V^2 = 0.$
	$V_{midden} = x - \frac{1}{2}T.$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_T^2.$
	$V_{rechts} = x - T.$	$\sigma_V^2 = \sigma_T^2.$
Variant 2	$V_{links} = x + \frac{1}{2}T.$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_T^2.$
	$V_{midden} = x.$	$\sigma_V^2 = 0.$
	$V_{rechts} = x - \frac{1}{2}T.$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_T^2.$

Variant 3

Kolomelem. $V_{\text{links}} = \mathcal{X} + \frac{1}{2}T.$

$$V_{\text{midden}} = \mathcal{X}$$

$$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}T.$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{4} \sigma_T^2.$$

$$\sigma_v^2 = 0.$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{4} \sigma_T^2.$$

Middenelem. $V_{\text{links}} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{2}T_3.$

$$V_{\text{midden}} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{4}T_3.$$

$$V_{\text{rechts}} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}T_1 - \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{4}T_3.$$

$$\sigma_v^2 = \frac{3}{8} \sigma_T^2.$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{8} \sigma_T^2.$$

$$\sigma_v^2 = \frac{3}{8} \sigma_T^2.$$

Bijlage 9. Scheluwte, kromming, scheefstand

Bij het gelijktijdig voorkomen van zowel scheluwte als kromming en scheefstand, gelden de volgende formules.

Voegstap

- Variant 1 $V_S = S + T$
 2 $V_S = \frac{1}{2}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + K_1 - K_2 + \frac{1}{2}T_1 + \frac{1}{2}T_2$
 3 $V_S = \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3 + \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3 + \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{4}T_3$

Voegbreedte

- Variant 1 $V_{links} = \mathcal{X}$.
 $V_{midden} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}S + K - \frac{1}{2}T$.
 $V_{rechts} = \mathcal{X} - S - T$.
- Variant 2 $V_{links} = \mathcal{X} + \frac{1}{2}S - K + \frac{1}{2}T$.
 $V_{midden} = \mathcal{X}$.
 $V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}S - K - \frac{1}{2}T$.
- Variant 3
 Kolomelem. $V_{links} = \mathcal{X} + \frac{1}{2}S - K + \frac{1}{2}T$.
 $V_{midden} = \mathcal{X}$
 $V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{2}S - K - \frac{1}{2}T$.
- Middenelem. $V_{links} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3 - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3 - \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{4}T_3$.
 $V_{midden} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 + \frac{1}{4}S_3 - \frac{1}{2}K_1 + K_2 - \frac{1}{2}K_3 - \frac{1}{4}T_1 + \frac{1}{4}T_3$.
 $V_{rechts} = \mathcal{X} - \frac{1}{4}S_1 - \frac{1}{2}S_2 + \frac{1}{4}S_3 - \frac{1}{2}K_1 - \frac{1}{2}K_3 - \frac{1}{4}T_1 - \frac{1}{2}T_2 + \frac{1}{4}T_3$.

<u>Variant</u>	<u>Voegstap</u>	<u>Voegbreedte</u>
1.	$\sigma_{VS}^2 = \sigma_S^2 + \sigma_T^2$	$\sigma_V^2 = 0$ (Links) $\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \sigma_K^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2$ (Midden) $\sigma_V^2 = \sigma_S^2 + \sigma_T^2$ (Rechts).
2.	$\sigma_{VS}^2 = \frac{1}{2}\sigma_S^2 + 2\sigma_K^2 + \frac{1}{2}\sigma_T^2$	$\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \sigma_K^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2$ (Links) $\sigma_V^2 = 0$ (Midden) $\sigma_V^2 = \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \sigma_K^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2$ (Rechts).
3.	$\sigma_{VS}^2 = \frac{3}{8}\sigma_S^2 + \frac{1}{2}\sigma_K^2 + \frac{3}{8}\sigma_T^2$	Onderscheidt naar Kolom- en Middenelement.

Kolomelem.

$$\begin{aligned}\sigma_V^2 &= \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \sigma_K^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2 && \text{(Links)} \\ \sigma_V^2 &= 0 && \text{(Midden)} \\ \sigma_V^2 &= \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \sigma_K^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2 && \text{(Rechts)}\end{aligned}$$

Middenelem.

$$\begin{aligned}\sigma_V^2 &= \frac{3}{8}\sigma_S^2 + \frac{1}{2}\sigma_K^2 + \frac{3}{8}\sigma_T^2 && \text{(Links)} \\ \sigma_V^2 &= \frac{1}{8}\sigma_S^2 + \frac{3}{2}\sigma_K^2 + \frac{1}{8}\sigma_T^2 && \text{(Midden)} \\ \sigma_V^2 &= \frac{3}{8}\sigma_S^2 + \frac{1}{2}\sigma_K^2 + \frac{3}{8}\sigma_T^2 && \text{(Rechts)}\end{aligned}$$

Conclusies

Om een keuze te maken uit de drie stelmethoden indien de besproken afwijkingen - scheluwte, kromming en scheefstand - voorkomen, kan het volgende als leidraad worden gehanteerd.

Voor de kleinste voegstap

Variant 1 indien $\sigma_K^2 > \frac{5}{4}\sigma_S^2 + \frac{5}{4}\sigma_T^2$

Variant 3 indien $\sigma_K^2 < \frac{5}{4}\sigma_S^2 + \frac{5}{4}\sigma_T^2$

Voor elke verhouding tussen σ_K^2 , σ_S^2 en σ_T^2 is de voegstap bij toepassing van variant 2 groter dan die van variant 3.

Ten opzichte van variant 1 is variant 2 gunstiger indien $\sigma_K^2 < \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2$

In de meeste situaties zal voor stelmethode variant 3 gekozen worden als het minimaliseren van de voegstap erg belangrijk is.

Aan de gestelde voorwaarden wordt in de praktijk nagenoeg altijd voldaan.

Voor de nauwkeurigste voegbreedte

Variant 1 indien $\sigma_K^2 > \frac{3}{4}\sigma_S^2 + \frac{3}{4}\sigma_T^2$

Variant 2 indien $\sigma_K^2 < \frac{3}{4}\sigma_S^2 + \frac{3}{4}\sigma_T^2$

Variant 2 en 3 indien $\sigma_K^2 < \frac{1}{4}\sigma_S^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2$

De voorwaarde waaronder variant 2 de nauwkeurigste voeg oplevert lijkt het meest reëel.

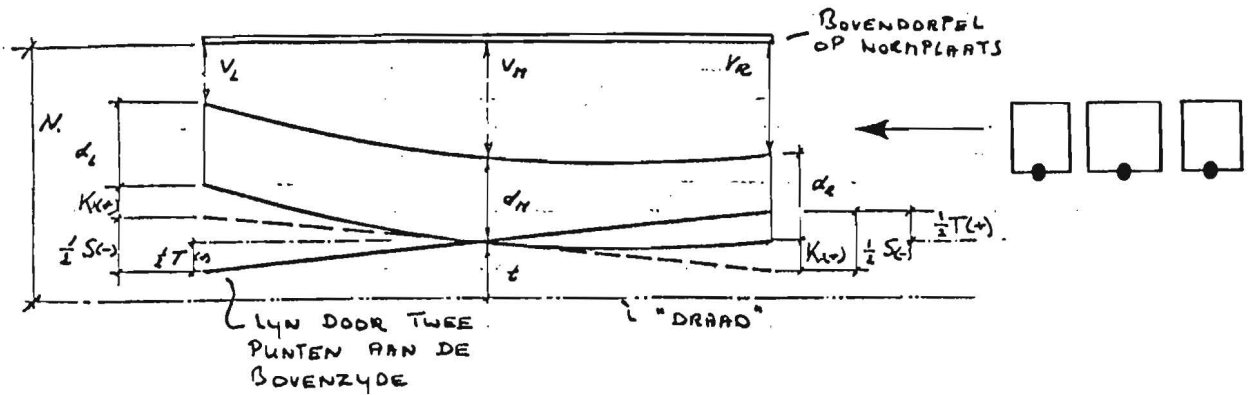
Het stellen volgens variant 2 - een punt op halve lengte aan de draad - zal dan ook in veel gevallen een verantwoorde keuze zijn.

Algemeen kan gesteld worden dat de stelmethode variant 1 praktisch altijd tot de slechtste resultaten leidt.

Bijlage 10. Voeg element_pui

De passing voor de voeg tussen de elementen en de bovendorpel van de aluminium pui ziet er als volgt uit:

Stelmethode variant 2. Het midden van het element wordt aan de draad gesteld.



- n = Normafstand tussen de draad en de bovendorpel
- t = Afwijking in plaats van de draad, afleesfout ed.
- T = Scheefstand ($\mu = 0$) d l = dikte (afwijking = $d l'$) links
- s = Scheluwte d m = dikte (afwijking = $d m'$) midden
- k = Kromming d r = dikte (afwijking = $d r'$) recht
- v_l, v_m, v_r = voegbreedte resp. links, midden, rechts
- v_l', v_m', v_r' = afwijking voegbreedte resp. links, midden, rechts
- v_n = normbreedte voeg = 10 mm

$$V_{links} = N - t + \frac{1}{2}T + \frac{1}{2}S - K - d_p.$$

$$V_{midden} = N - t - d_m.$$

$$V_{rechts} = N - t - \frac{1}{2}T - \frac{1}{2}S - K - d_r.$$

De voeg achter het middenelement (1)

$$N_{V_{l1}} = +\frac{1}{2}N_{S_1} - N_{K_1} - N_{d_{m1}}$$

$$\sigma_{V_{l1}}^2 = \sigma_t^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2 + \frac{1}{4}\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{K_1}^2 + \sigma_{d_{m1}}^2.$$

$$N_{V_{m1}} = N_{d_{m1}}$$

$$\sigma_{V_{m1}}^2 = \sigma_t^2 + \sigma_{d_{m1}}^2.$$

$$N_{V_{r1}} = -\frac{1}{2}N_{S_1} - N_{K_1} - N_{d_{r1}}$$

$$\sigma_{V_{r1}}^2 = \sigma_t^2 + \frac{1}{4}\sigma_T^2 + \frac{1}{4}\sigma_{S_1}^2 + \sigma_{K_1}^2 + \sigma_{d_{r1}}^2.$$

Lit nametingen volgt:

$$N_{S_1} = -1,7.$$

$$\sigma_{S_1}^2 = 32,5$$

$$N_{d_{m1}} = -0,6$$

$$\sigma_{d_{m1}}^2 = 4.$$

$$N_{K_1} = 0,6$$

$$\sigma_{K_1}^2 = 1,4$$

$$N_{d_{r1}} = 0,3$$

$$\sigma_{d_{r1}}^2 = 2,6.$$

Aannamen:

$$\begin{aligned} \sigma_T^2 &= 4 & \mu_{d'_{m,1}} &= 0 & \sigma_{d'_{m,1}}^2 &= 4. \\ \sigma_t^2 &= 2 & & & & \\ \mu_{V_{L,1}} &= -0,9 - 0,6 + 0,6 = -0,9 & \sigma_{V_{L,1}}^2 &= 2 + 1 + 8,1 + 1,4 + 4 = 16,5. \\ \mu_{V_{M,1}} &= 0 & \sigma_{V_{M,1}}^2 &= 2 + 4 = 6. \\ \mu_{V_{R,1}} &= 0,9 - 0,6 - 0,3 = 0. & \sigma_{V_{R,1}}^2 &= 2 + 1 + 8,1 + 1,4 + 2,6 = 15,1. \end{aligned}$$

In 95% van de gevallen geldt t.a.v. de nauwkeurigheid in de voegbreedte achter het middenelement.

$$-8,9 \leq V_{L,1}' \leq +7,1.$$

$$-4,8 \leq V_{M,1}' \leq +4,8.$$

$$-7,6 \leq V_{R,1}' \leq +7,6.$$

De voeg achter het kolomelement (2)

$$\begin{aligned} \mu_{V_{L,2}} &= \frac{1}{2} \mu_{S_2} - \mu_{K_2} - \mu_{d'_{L,2}} & \sigma_{V_{L,2}}^2 &= \sigma_t^2 + \frac{1}{4} \sigma_{T_2}^2 + \frac{1}{4} \sigma_{S_2}^2 + \sigma_{K_2}^2 + \sigma_{d'_{L,2}}^2 \\ \mu_{V_{M,2}} &= -\mu_{d'_{m,2}} & \sigma_{V_{M,2}}^2 &= \sigma_t^2 + \sigma_{d'_{m,2}}^2 \\ \mu_{V_{R,2}} &= -\frac{1}{2} \mu_{S_2} - \mu_{K_2} - \mu_{d'_{R,2}} & \sigma_{V_{R,2}}^2 &= \sigma_t^2 + \frac{1}{4} \sigma_{T_2}^2 + \frac{1}{4} \sigma_{S_2}^2 + \sigma_{K_2}^2 + \sigma_{d'_{R,2}}^2. \end{aligned}$$

Uit de nametingen:

$$\begin{aligned} \mu_{S_2} &= -1,2 & \sigma_{S_2}^2 &= 9 & \mu_{d'_{L,2}} &= 3,1 & \sigma_{d'_{L,2}}^2 &= 9,6 \\ & & & & \mu_{d'_{R,2}} &= 2,6 & \sigma_{d'_{R,2}}^2 &= 4. \end{aligned}$$

aannamen:

$$\begin{aligned} \sigma_T^2 &= 4. & \mu_{d'_{m,2}} &= 2,5 & \sigma_{d'_{m,2}}^2 &= 6. \\ \sigma_t^2 &= 2 & \mu_{K_2} &= 0. & & \\ \sigma_{D_2} &= 1 & & & & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{V_{L,2}} &= -0,6 - 3,1 = -3,7. & \sigma_{V_{L,2}}^2 &= 2 + 1 + 2,3 + 1 + 9,6 = 15,9. \\ \mu_{V_{M,2}} &= -2,5. & \sigma_{V_{M,2}}^2 &= 2 + 6 = 8. \\ \mu_{V_{R,2}} &= 0,6 - 2,6 = -2. & \sigma_{V_{R,2}}^2 &= 2 + 1 + 2,3 + 1 + 4 = 10,3. \end{aligned}$$

In 95% van de gevallen geldt t.a.v. de nauwkeurigheid in de voegbreedte achter het kolomelement.

$$-11,5 \leq V_{L,2}' \leq +4,1$$

$$-8 \leq V_{M,2}' \leq +3.$$

$$-8,3 \leq V_{R,2}' \leq +4,3.$$

De voegstap

Ten aanzien van de voegstappen kunnen twee situaties worden onderscheiden n.l.:

De voegstap links van het middenelement.

$$\begin{aligned} V_{S_L} &= V_{L,1} - V_{R,2}. \\ \mu_{V_{S_L}} &= \mu_{V_{L,1}} - \mu_{V_{R,2}} & \sigma_{V_{S_L}}^2 &= \sigma_{V_{L,1}}^2 + \sigma_{V_{R,2}}^2. \\ \mu_{V_{S_L}} &= -0,9 + 2 = 1,1 & \sigma_{V_{S_L}}^2 &= 16,5 + 10,3 = 26,5 \end{aligned}$$

In 95 % van de gevallen geldt t.p.v. de linkeraansluiting:

$$-8,9 \leq V_{S_L} \leq +11,1$$

De voegstap rechts van het middenelement

$$\begin{aligned} V_{SR} &= V_{L.2} - V_{R.1} \\ N_{VSR} &= N_{V_{L.2}} - N_{V_{R.1}} \\ N_{VSR} &= -3,7 \end{aligned} \quad \begin{aligned} \sigma_{VSR}^2 &= \sigma_{V_{L.2}}^2 + \sigma_{V_{R.1}}^2 \\ \sigma_{VSR}^2 &= 15,9 + 15,1 = 31. \end{aligned}$$

In 95 % van de gevallen geldt t.p.v. de rechter aansluiting:

$$-14,6 \leq V_{SR} \leq +7,2$$

Dat de uitkomsten t.a.v. de voegbreedte en de voegstap niet bepaald rooskleurig zijn is voornamelijk te wijten aan de grote (systematische) afwijking in de dikte van de kolomelementen en aan de grote scheluwte in de middenlementen.

De nametingen laten t.a.v. de voegbreedte en de voegstap (bijlage 2: Meetresultaten) betere resultaten zien dan die welke verkregen zijn uit de passingsformules.

Voor de voegstap in sterkere mate dan voor de voegbreedte.

Dat de onnauwkeurigheden kleiner zijn is te verklaren uit het feit dat niet zozeer volgens een bepaalde stelmethode is gewerkt, maar dat de elementen zodanig zijn verschoven en gekanteld totdat het resultaat bevredigend was.

Dat dit ten koste gaat van een groot aantal manuren zal duidelijk zijn.