

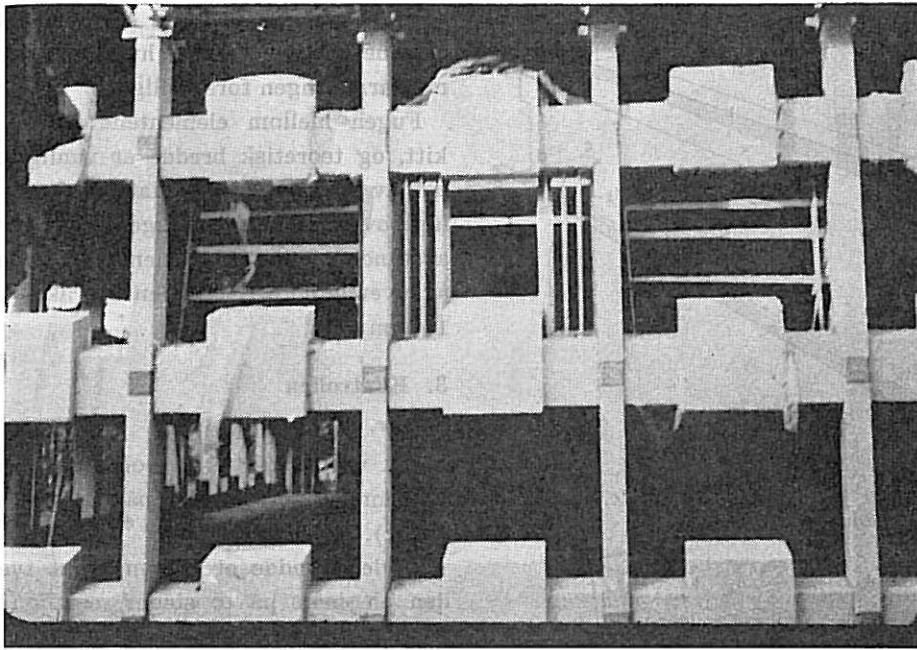
**Et eksempel på kontroll
av prefabrikerte bygningselementer**

Av ingeniør Brynjulv Slettebø
Norges byggforskningsinstitut

OSLO 1964

Særtrykk av BYGG, nr. 1, 1964

Approved by the
Director of the
Central Intelligence Agency



En del av fasaden på «Indeks-bygget» under montering.
Nøyaktighetskontrollen ble utført på dette bygget.

Et eksempel på kontroll av prefabrikerte bygningselementer

Av ingeniør Brynjulv Slettebo

Norges byggforskningsinstitutt

DK 691.327

Norges byggforskningsinstitutt har i en del tilfelle påtatt seg å kontrollere prefabrikerte betongelementer som leveres til byggeplasser. Kontrollen har ført til at NBI nå sitter inne med erfaringer om hvordan elementer kan kontrolleres på lengder, vinkler etc. En slik dimensjonskontroll har bl. a. vært gjennomført på elementene som har vært levert til Industriens og Eksportens hus. Denne artikkel beskriver praktiske erfaringer med kontrollen ved dette bygget.

1. Innledning

I et bygg hvor det brukes prefabrikerte elementer, er det viktig at de enkelte deler som inngår i bygget, passer inn i hverandre uten for mange vanskeligheter. Det er ikke nok at lengden, bredden og tykkelsen ligger innenfor visse toleranser. Elementene må også ha rette kanter, sider, vinkler og ikke være vindskjeve. Dette må en ta hensyn til når toleransebestemmelsene skal utformes, og hvert toleransekrav må defineres slik at det går tydelig fram hva som menes.

Før en går igang med en kontroll av slike elementer, må det settes opp visse retningslinjer for kontrollen. Det er vanskelig på forhånd å fastsette i detalj hva som skal gjøres. Blant annet begynner

produksjonen av elementene vanligvis lenge før alle konstruksjonsdetaljer er godkjente. Dessuten gir erfaringene fra kontrollen et vink om det nødvendige omfanget av denne. Finner man ikke overskridelser av toleransene og brukes det stabile former, så er behovet for kontroll ikke så stort. I slike tilfelle kan det være nok å ta stikkprøver av hele elementer eller av bestemte mål på disse.

Det bør fastsettes på hvilket stadium i produksjonen kontrollen skal foretas. Jo tidligere den blir tatt, jo hurtigere kan den etterfølgende produksjon korrigeres, men samtidig er faren større for at elementene i tiden mellom kontroll og montering vil forandre seg noe. Denne forandring kan skyldes krymping, uheldig opplagring, etterbehandling o. l., og dette kan gjøre det nødvendig med flere kontroller.

All måling vil være forbundet med visse unøyaktigheter som skyldes måleverktøyet, avlesningen, ujevne flater, skiftende temperatur o. l. En 3 meters betongsøyle er f. eks. bortimot 1,5 mm lenger ved + 25 °C enn ved ÷ 15 °C. Hvordan måleredskaper varierer med temperaturen, avhenger av materialsort og kvalitet. Spørsmål om feil i målene som skyldes slike ting bør tas opp. De bør vel komme leverandøren til gode. Det kan også bli

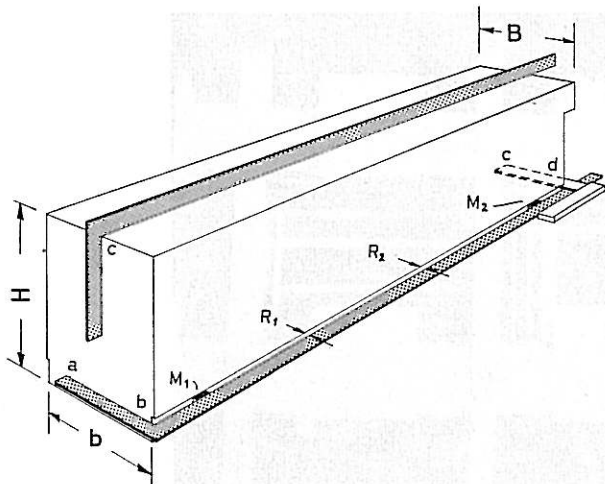


Fig. 1: Arrangement for måling av lengde, retthet og endevinkel for søyle.

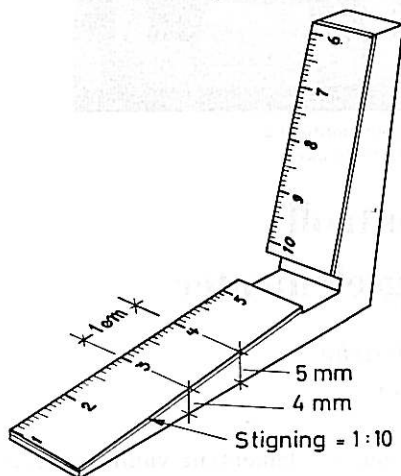


Fig. 2: Målekile for kontroll av klaringer.

spørsmål om på forhånd å godkjenne måleverktøyet som skal brukes. Det må fastlegges hva som skal gjøres med elementer som ikke holder seg innenfor toleransene, eller som kvalitetsmessig er tvilsomme. Det kan tenkes at et element, eller kanskje bare et bestemt mål på det, overskrider toleransene med en millimeter eller to. Skal dette elementet kasseres? Hvem av partene — arkitekt, konsulent, hovedentreprenør, byggherre eller kontrollør — skal ha myndighet til i tvilstilfelle å avgjøre dette?

2. Elementene

Disse er laget av hvit sement, og tilslagsmaterialene er knust hvit granitt. Alle synlige flater blir vasket i forbindelse med avformingen, slik at granitten kommer tydelig fram og overflaten blir svært ru og skarp.

De viktigste elementer er:

Bærende søyler	760 stk. ca. 80 varianter
Brystningselementer	670 stk. ca. 25 varianter
Hjørne-elementer	130 stk. ca. 10 varianter
Veggelementer	75 stk. ca. 40 varianter

I tillegg kommer det noen undervarianter for søylenes vedkommende, hvor målene er de samme, men armeringen forskjellig.

Fugen mellom elementene forsegles med fugekitt, og teoretisk bredde er vanligvis 15 mm. Den del av elementet som danner fugen har ofte frilagt overflate, og da fugebredden er definert som avstanden mellom elementene regnet fra toppen av overflaten, vil bredden i praksis bli større enn 15 mm.

3. Kontrollen

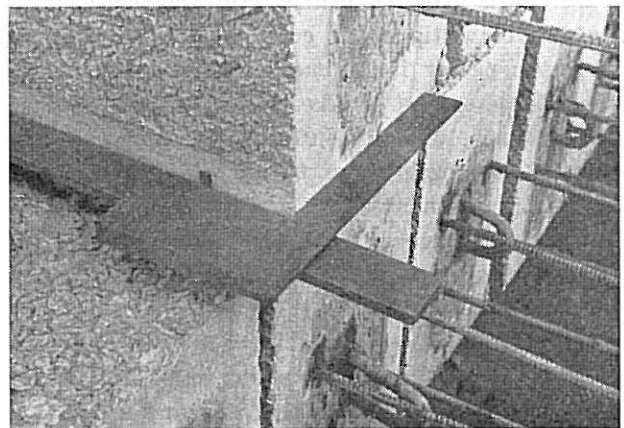
Søyler.

Det var fastsatt en toleranse for lengden på ± 5 mm og for bredden på ± 3 mm (mellom slette flater).

Søylene hadde et rektangulært tverrsnitt. Lengden ble målt på to steder, nemlig i forkant og i bakkant av søylen med en 3 meters stållinjal med måleskala i mm. Linjalen ble lagt mot søylen og forskjøvet, slik at den faste vinkelen stoppet mot enden på søylen. Deretter ble en løs vinkel plassert i den andre enden — se *bilde 1* — og lengden avlest til nærmeste mm. Eftersom tverrsnittet på søylen være både større (i praksis maks. 1 mm) bare grep 25 cm innpå, var det ikke alltid søylens største lengde som ble avlest. Det viste seg nemlig at endene på søylen sjelden var helt rettvinklet i begge retninger. Da kunne de faktiske målene på søylen være både større, (i praksis maks. 1 mm) og mindre enn det som ble avlest på linjalen, avhengig av om det var klaring under vinkelen ved a, b, c, d eller e, se *fig. 1*. Klaringen ble målt med en gradert målekile, se *fig. 2*. Mot slutten ble det bare målt når det var fare for at toleransen skulle overskrides.

Andre ujevnheter i endeflaten kunne også vanskeliggjøre målingen.

Bredden på søylene ble målt med et skyvelære. Søylen ble målt i forkant og i bakkant på fire ste-



Bilde 1: Måling av søylelengde med linjal og løs vinkel.

der. Målene i forkant ble tatt mellom vaskede, ujevne overflater — *bilde 2* — og ble avlest til nærmeste mm. I bakkanten ved vindusfalsen ble målene avlest til nærmeste 0,5 mm, da denne flaten skulle være slett.

Ved små anleggsflater på verktøyet og ru overflate på elementet, vil en ved å flytte skyvelæret noen cm langs søylen finne flere forskjellige mål. Det er derfor viktig at anleggsflaten på måleverktøyet er større enn største korngradering i materialet. Den bør helst være 2—3 ganger større for å være sikker på å få med største mål.

Ved å måle bredden både med stor og liten anleggsflate på verktøyet, vil forskjellen i disse målene vise ruhetsgraden av overflaten.

På siden av søylen i bakkant var det som nevnt overfor en slett fals for montering av vindu. Denne falsen ble kontrollert for å se hvor rett den var. Dette ble gjort på den måte at den lange stållinjalen ble lagt langs falsen med en avstandskloss, 3 mm tykk, imellom i hver ende, (M_1 og M_2 på fig. 1). Disse var gjort magnetiske og heftet seg derfor til linjalen. Dette var gjort for å lette arbeidet. Avstanden mellom linjalen og søylen kunne nå måles med målekile hvor en måtte ønske det.

Avviket fra den rette linje ble målt på to steder, R_1 og R_2 på fig. 1. Det var også lett å se hvor største avvik var, og ta et mål på dette.

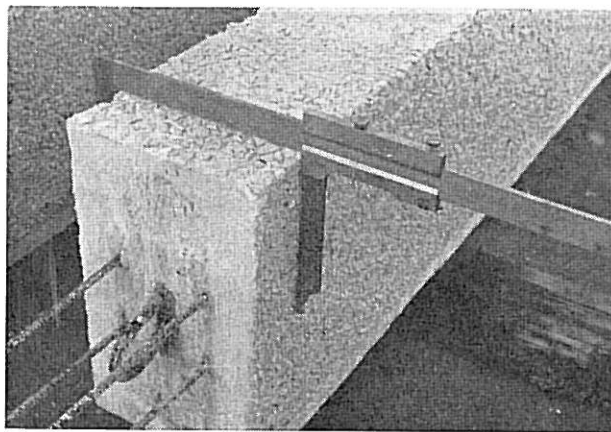
Det var ikke satt noen bestemt toleranse for rett-
het, men i og med at det var fastsatt en toleranse på ± 3 mm på bredden, måtte falsen være så rett at den lå innenfor denne. Dessuten skulle den være «jevn, plan, tett og glatt».

Høyden H — fig. 1 — ble målt ved hjelp av et vanlig skyvelær på de samme steder som bredden ble målt.

Brystningselementer.

Fig. 3 viser et eksempel på disse. Elementet blir på bygget satt mellom to søyler. Fugen mellom det og søylene skal teoretisk være 15 mm. Det var fastsatt en toleranse på lengden på ± 4 mm. Lengden ble kontrollert mellom følgende hjørner: A—E, B—F, C—G og D—H, se fig. 3. Da elementets kanter i sin helhet vil ligge an mot søylen, er det like viktig at vinklene er riktige. Den viktigste av disse vinklene er den mellom linjen A—E og A—D og tilsvarende på andre siden E—A og E—H. Dersom denne avviker bare $\frac{1}{4}^\circ$ fra rett vinkel, blir forskjellen i fugebredden oppe og nede ca. 4 mm. Det er også denne vinkel som er vanskeligst å få kontrollert i støpeformen på grunn av elementets fasong. Måleverktøyet var en stor stålvinkel.

Vinklene i enden i et bestemt plan kan også kon-



Bilde 2: Måling av søylebredde i forkant.

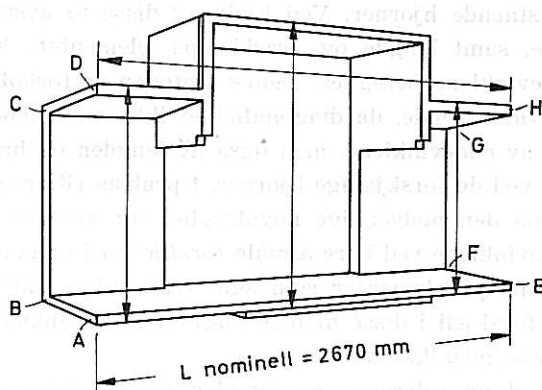
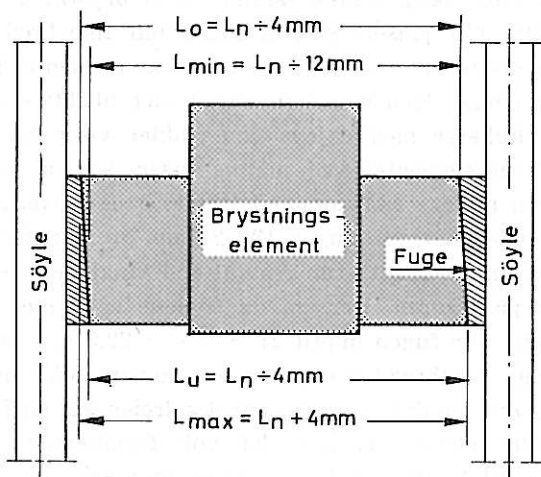
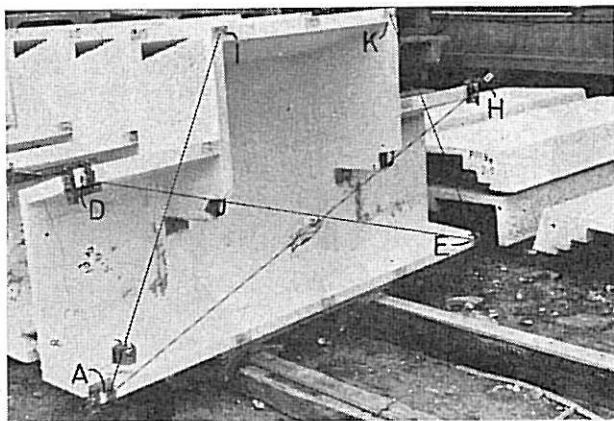


Fig. 3: Perspektiv av brystningselement med kontroll-lengder inntegnet.

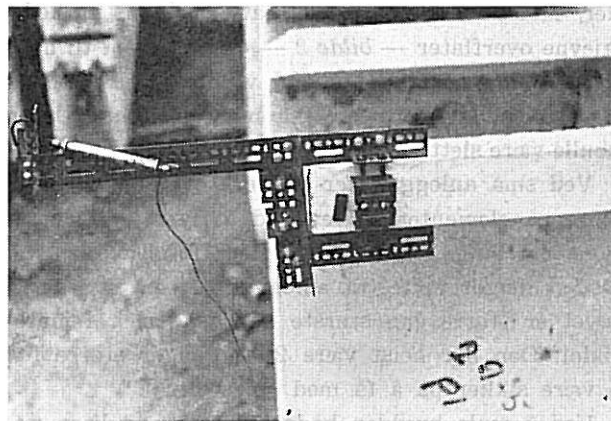


- L_o = overkant mål
- L_u = underkant "
- L_n = nominelt "
- L_{min} = minste "
- L_{max} = største "

Fig. 4: Mulige variasjoner i fugebredder mellom søyle- og brystningselement.



Bilde 3: Oppspenning av pianotråder mellom elementets hjørner.



Bilde 4: Oppspenning av pianotråd i hjørne av element. Til venstre ses fjærvekt. Pianotråden ligger an mot magnetisk avstandskloss.

trolleres ved å måle avstanden mellom diagonalt motstående hjørner. Ved hjelp av disse to avstandene, samt lengde og bredde på elementet, kan endevinklene beregnes. Denne metoden er forholdsvis tidkrevende, da diagonal målet ikke bare avhenger av endevinklene, men også av lengden og bredden ved de forskjellige hjørner. I praksis vil en ofte oppnå den nødvendige nøyaktighet for kontroll av endevinklene ved bare å måle *forskjellen* i diagonal målene på elementer som skal være rektangulære. En forskjell i disse målene viser at noen vinkler er skjeve, men ikke hvilke.

Med en toleranse på lengden av brystningselementene på ± 4 mm og en toleranse på bredden av søylene på ± 3 mm, vil fugebredden ligge mellom $15 \div \frac{7}{2} = 11,5$ mm og $15 + \frac{7}{2} = 18,5$ mm. Dette er under forutsetning av at søylene er montert med riktig senteravstand, og at brystningselementet blir plassert slik at fugen blir like bred på begge sider av det, samt at endene av elementet har rett vinkel. Hva som kan skje under uheldige omstendigheter med skjeve endevinkler viser *fig. 4*. Dersom elementet ved måling viser seg å være 4 mm mindre enn nominell lengde både i overkant og underkant, blir fugen 13—21 mm bred, se *fig. 4*. Dette under forutsetning av at endevinklene er som vist på figuren. Dersom da søylene er 3 mm for smale, blir fugen opptil $21 + \frac{3}{2} = 22,5$ mm bred. Denne fugebredden opptrer som nevnt under uheldige omstendigheter, men når det dreier seg om 7—8 hundre elementer, kan det nok forekomme.

Hertil kommer toleranser ved monteringen, som kan virke i gunstig eller ugunstig retning.

Lengden, L_{\min} på *fig. 4*, kan oppfattes som absolutt minste lengde og er som en ser et viktig mål, men er dessverre tidkrevende å få målt på grunn av elementets størrelse og kassefasong. Figuren viser bare to av elementets fire hjørner i hver ende.

Hvor vidt elementet på skissen ligger innenfor

tillatte toleransegrenser er et definisjonsspørsmål. Ved fastsettelse av toleranser for lengden bør en derfor definere nærmere hvilke lengder som menes, eller fastsette toleranser for vinklene i endene på elementet. Dette gjelder særlig store kasseformede elementer.

I bakkanten av elementet i over- og underkant er det en smal kant som danner tilslutning for vinduet. Elementet måtte derfor ikke være for mye vindskjevt langs innerkanten. Dette ble kontrollert ved at to tynne pianotråder ble strukket diagonalt mellom de fire ytterhjørner. *Bilde 3 og 4* viser arrangementet for oppspenning av pianotrådene. Trådene mellom hjørnene A—H og D—E ble strammet ved hjelp av fjærvekter. Mellom tråden og elementet ble det i hvert hjørne plassert en magnetisk avstandskloss for at anleggsflaten for tråden skulle bli lik i hvert hjørne. Trådene ble tilkoblet hver sin pol på et batteri med en lyspære innskutt i strømkretsen. Ved hjelp av den målgraderte kilen ble den ene tråden kilt ut akkurat så mye at lyspæren begynte å lyse. Da var det kontakt i skjæringspunktet mellom trådene, og de dannet et plan. Elementets avvikelse fra dette planet ble da avlest direkte på målekilen.

Fra hjørnet A strekkes deretter en tråd i det plan de tidligere spendte tråder danner til hjørnet I. Når denne tråd berører tråden på linjen D—E lyser lampen kraftigere enn før på grunn av kortere strømkrets. Avstanden fra tråden til hjørnet I ble så målt med målekilen. Det samme ble gjort på linjen E—K. På denne måten kunne man kontrollere avvik i planet mellom hjørnene A—D—E—H—I—K med en nøyaktighet av ca. 0,2—0,3 mm. På grunn av betongflatens ruhet vil det i praksis neppe ha noen hensikt å gå lenger i nøyaktighet enn å lese av til nærmeste 0,5 mm.

Det ble i dette tilfelle brukt en trådtykkelse på 0,15 mm og en stramming på ca. 2 kg. Ved kontroll

av vindskjevheten på andre elementer, hvor flaten lå horisontalt, ble strammingen øket til 3—4 kg for at ikke nedbøyningen av tråden skulle redusere målenøyaktigheten i vesentlig grad.

Det var ikke fastsatt noen toleranse på vindskjevhet.

Fig. 3 viser også noen av de andre målene som ble kontrollert.

4. Fastsettelse av toleransekrav

Det er mange ting å ta hensyn til når toleranser på prefabrikerte bygningselementer skal fastsettes. Ut fra et monterings synspunkt kan det være ønskelig med minst mulige toleranser på selve elementene for å lette monteringen. Produsenten vil være interessert i romslige toleranser for å lette produksjonen av elementene. De tekniske og arkitektoniske krav går i retning av små toleranser.

I de tilfeller da toleransegrensene er fastsatt før anbudet går ut til leverandørene, vil disse i anbudet sitt måtte ta hensyn til kostnaden som toleransene medfører. Det blir da byggherren som til slutt må betale, og det er alminnelig antatt at produksjonskostningene vanligvis stiger progressivt med økende toleransekrav.

Nedenfor er satt opp noen momenter som en bør ha i tankene når toleransekravene skal fastsettes og kontrollen legges opp.

Dimensjonskontroll: Lengde, bredde og tykkelse.

Hvor mange mål av hver dimensjon skal tas?

Hvor skal hvert mål tas? På bestemte steder og/eller skal en finne største og minste mål uansett sted?

Hvordan skal hvert mål tas? Med bandmål? Med linjal og vinkel?

Hvor stor anleggsflate skal måleverktøyet ha?

Dette er spesielt viktig ved måling på ujevne flater.

Skal plasing av utsparinger, beslag og lignende kontrolleres, og hvilke punkter skal det i tilfelle måles fra, og hvor stor er toleransen?

Hvilken kant (event. kanter) er utgangspunkt

Vinkelkontroll.

Hvilken kant (event. kanter) er utgangspunkt for målingen?

Hvilke vinkler skal måles, og hvor? (Avstand inn fra kant og lignende.)

Skal avvikelsen måles i grader eller mm, og hvilken avlesningsnøyaktighet skal brukes?

Vindskjevhetkontroll.

Hvilke flater skal måles, og i hvilke punkter?

Hvor stor anleggsflate skal det brukes i målepunktene?

Dette er spesielt viktig å få fastsatt ved måling på ujevne flater.

Hvordan skal vindskjevheten defineres? Er det ett hjørnes beliggenhet i forhold til det plan de andre tre hjørnene danner, eller er det halvparten av denne avstanden som er vindskjevheten? Elementet tenkes da vippt, slik at feilen fordeles på to diagonalt motstående hjørner.

Hvilken avlesningsnøyaktighet skal brukes?

Er elementenes konstruksjon slik at det bør fastsettes nærmere regler for hvordan de skal lagres, transporteres og behandles mellom produksjons- og monteringssted for å hindre formforandringer?

Retthet av kanter og flater.

Hvilke kanter og flater skal kontrolleres, og hvor? (Avstand inn fra kant og lignende?)

Hvordan skal rettheten defineres, og hvor ligger den linje som danner utgangspunktet for måling av avvikelserne?

Skal avvikelserne måles i bestemte punkter eller skal en finne største avvikelse?

Hvor stor skal anleggsflatene på måleverktøyet være? Det er viktig å få fastsatt dette ved en ru overflate.

Hvilken avlesningsnøyaktighet skal brukes?

Kvalitetskontroll.

Hvilke krav skal stilles til betongkvaliteten, og på hvilken måte skal denne kontrolleres?

Hvilke krav skal stilles til elementets utseende, vanntetthet, sprekkfrihet og lignende?

5. Andre erfaringer fra kontrollarbeidet

Mange spørsmål dukker opp når en arbeider med slikt kontrollarbeide, og det vil derfor være vanskelig å gi svar på alle disse i en beskrivelse som er satt opp på forhånd. Det er vel heller ikke ønskelig. Dersom det skal praktiseres en eller annen form for stikkprøvekontroll, bør kontrolløren stå nokså fritt med hensyn til hvilke elementer han vil plukke ut og kontrollere. Erfaringen viser nemlig at produksjonsmetoden og elementets fasong spiller en stor rolle for nødvendigheten av kontroll. I det første tilfelle er det særlig stabiliteten og konstruksjonen av støpeformen som er viktig. De elementer eller deler av disse, som støpes i en stiv og stabil betong — eller stålform, behøver ikke å kontrolleres på langt nær så ofte som de som støpes i en treform. Treformen vil «arbeide» på grunn av fuktigheten i betongen og slites fort.

Elementets form spiller også en viktig rolle. Store, smekre, uregelmessige elementer behøver mest kontroll. Støpeformen til disse med begrensninger og utsparinger er nemlig vanskelig eller

i allfall tidkrevende å få kontrollert før støpingen. Riktig farlig blir det når store elementer blir støpt i en ren treform og denne er så lett og smekker at en risikerer at den kommer ut av stilling for hver støping og avforming.

Om en produsent skal bruke det ene eller det andre form-materiale blir et kalkylespørsmål. En stabil form blir gjerne dyrere enn en ustabil og krever derfor flere like elementer for å tjene seg inn.

Det er vel sannsynlig at stål og plast vil gjøre seg mer gjeldende som form-materiale i fremtiden.

Andre grunner som påvirker behovet for ekstra-kontroll, er produsentens egen innsats på dette område, dyktigheten og nøyaktigheten til de arbeidere som setter sammen formene og foretar støpingen. Det er viktig at disse folkene blir orientert om hvilken oppgave det elementet de arbeider med har på bygget, dets forhold til andre elementer, viktige mål og lignende. Sammenstillingstegninger, modell av det ferdige bygg er viktig hjelpemidler i den anledning. Det er tilfeller hvor f. eks. en vindskjevhet på 2—3 mm på et element er synlig, og andre tilfelle der en vindskjevhet på 1—2 cm ikke er synlig på bygget. Utenom overflatens beskaffenhet er det et elements beliggenhet i forhold til sine naboelementer, fugebredde, skarp eller avrundet kant, skyggedannelser, som bestemmer hvor synlig en avvikelse blir.

I forbindelse med kontroll av betongelementer har man brukt kassedefinisjonen for å definere elementets begrensninger. Denne sier at elementet skal ligge mellom en innskrevet og omskrevet kasse. Da det som oftest bare er bestemte mål og vinkler som er kritiske, vil et slikt krav være urimelig og fordyre produksjonen. Målearbeidet blir omfattende og regnearbeidet tilsvarende stort, idet all måling må foregå ut fra definerte teoretiske punkter.

Erfaringene fra kontrollen på Indeksbygget viser at man kan oppnå en brukbar kontroll ved å måle lengder, vinkler og vindskjevheter slik som omtalt ovenfor.

En annen metode for å kontrollere vindskjevhe-

ten enn den tidligere nevnte, hvor to tråder strekkes diagonalt fra hjørne til hjørne, er å plasere elementet på en stiv planskive som ligger på bakken. Dersom elementet har utstikkende kanter i forhold til den flate som skal kontrolleres, må det plasseres på parallellklosser. Disse klossene må da være høyere enn de utstikkende kanter. Denne metoden kan bare brukes hvor elementet er så stivt at det plan som skal kontrolleres, ikke forandrer seg nevneverdig under håndteringen og ved plaseringen av elementet på planskiven.

Ved avlesningen av de forskjellige mål har det ved uslipte elementer ingen hensikt å lese av nøyaktigere enn til nærmeste 0,5 eller 1 mm, avhengig av overflatens beskaffenhet.

Det er ikke bare under produksjonen av elementene at det er viktig med toleranser og nøyaktighet. Det er tross alt kvaliteten og utseende av det ferdige bygget som er det vesentlige, og derfor kan det være like viktig at de som monterer elementene, også arbeider etter visse toleranser.

I mange tilfelle ville det være naturlig at produsenten av elementene også tar seg av monteringen på bygget, og at det i slike tilfelle blir fastsatt toleranser, hvor en tar utgangspunkt i det ferdige bygg og bl. a. forlanger at fugebredden skal ligge innenfor visse toleranser. Produsenten ville dermed stå friere. Et element som ellers ville blitt kassert fordi det var noen mm for kort, blir kanskje da likevel brukt ved at naboelementet blir laget tilsvarende for langt. Det samme er tilfelle hvor en skjev vinkel på et element i seg selv ikke er synlig, men montert sammen med et element med rett vinkel vil det være fugen som avslører skjevheten.

Det viktigste ved kontrollen i det omtalte tilfelle var å hindre ubrukbare og dårlige elementer i å komme på bygget. Det skjedde både ved at selve elementet ble kontrollert og ved at resultatet av denne kontrollen, ved avvikelser, dannet utgangspunktet for en justering av støpeformen for de etterfølgende elementer. Denne forebyggende kontroll kommer ikke frem i kontrollrapportene, men den er i de fleste tilfelle den viktigste likevel, i allfall ved stikkprøvekontroll.