

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DTU

UNDERVISNINGSNOTAT
OM
MÅLTOLERANCER

EGIL BORCHERSEN

April 1998

Indholdsfortegnelse

- Forord
1. **Indledning**
 - 1.1 Målafsætning på byggeplads
 - 1.2 Krav til de enkelte elementer
 2. **Terminologi og definitioner**
 3. **Anvendelse af tolerancer**
 - 3.1 Byggeteknisk
 - 3.2 Juridisk-teknisk
 - 3.3 Produktionsmæssigt
 - 3.4 Tolerancekrævende mål
 4. **Betonelementers målafvigelser og tolerancer**
 - 4.0 Målafvigelseernes årsager
 - 4.1 Betonelementers målafvigelse i praksis
 - 4.2 Tolerancer for betonelementers hovedmål
 - 4.3 Kontrol af tolerancers overholdelse
 5. **Sammenbygningers målafvigelse**
 - 5.1 Indledning
 - 5.2 Sammenbygningers basismål
 - 5.3 Additivt princip
 - 5.4 Statistisk model
 6. **Referencer**

FORORD

Tolerancer eller mere korrekt måltolerancer er et middel til at styre den geometriske nøjagtighed, når enkeltdele (komponenter) skal sammenbygges til f.eks. en maskine eller en bygningskonstruktion.

I dette notat gives en orientering om et par metoder til beregning (vurdering) af målafvigelser (unøjagtigheder) i bygninger opbygget af præfabrikerede betonelementer. Der er taget udgangspunkt i DS 1050 [1], hvortil der henvises, hvis en mere detaljeret beskrivelse ønskes.

Egil Borchersen

1. INDLEDNING

Måler man afstanden mellem to vægge i et færdigmontet hus, og sammenligner med det tilsvarende mål i projektmaterialets tegninger, vil man som oftest konstatere, at disse to mål ikke er identiske. Afvigelser på 5-10 mm vil ikke være ualmindelige.

Hvilke afvigelser, man kan acceptere, vil afhænge af de funktionskrav, man stiller til bygningen og dens enkelte dele.

Et elements endelige placering er betinget af en række mål.

Til at belyse dette, kan vi se på hvordan et elements endelige placering fastlægges under montagen af huset.

1.1 Målafsetsning på byggeplads

Forud for udgravning til fundament m.v. afsættes på byggepladsen en række målafsetsningslinier.

Disse afsættes af en landinspektør eller anden sagkyndig ud fra det overordnede matrikelnet.

Målafsetsningslinierne skal afsættes med stor nøjagtighed, idet andre placeringsmål afsættes i forhold til disse. Som typiske målafsetsningslinier i et normalt tværvægsbyggeri kan nævnes:

På tværs af bygning: Modullinierne i gavlene, midterlinien i trapperum og eventuelt midterlinier i lejligheds-skel.

På langs af bygning: Modullinierne i længdeafstivende vægge og ydervægge.

Som nævnt bliver de enkelte elementers placering afsat i forhold til disse målafsetsningslinier. I tilfælde, hvor flere elementer monteres i forlængelse af hinanden, nøjes man dog med at afsætte placeringen af det første og det sidste element og overlader til montagesjakkets placere (fordele) de mellemliggende elementer ligeligt.

Som det fremgår, er der i forbindelse med elementets endelige placering afsat en række mål, som hver især er be- hæftet med visse unøjagtigheder. Dertil kommer så selve

elementernes mål, som også kan afvige fra målene i projektmaterialet.

Alt i alt vil den i starten omtalte vægafstand være en sum af en række mål med forskellige unøjagtigheder.

Den "endelige" nøjagtigheds størrelse kan styres på forskellig måde, enten ved at afsætte flere eller færre målafsetsningslinier eller ved at stille særlige krav til placeringsmålene eller til montagenøjagtigheden og endelig ved at stille krav til selve elementernes målafvigelser. Til fastlæggelse af nøjagtighedens størrelse i byggeriet har man bl.a. indført tolerancebegrebet, som omtales nærmere i disse noter.

Tolerancebegrebet kom ind i byggeriet i forbindelse med modulkoordineringen og montagebyggeriet, hvor man på byggepladsen skulle sammenbygge præfabrikerede elementer. Tidligere havde man klaret nøjagtighedskrav på stedet, idet alle bygningsdele stort set blev tildannet på stedet og således kunne afrettes efter behov.

Tolerancebegrebet er imidlertid et gammelkendt begreb inden for maskinindustrien, hvor det har været et nødvendigt hjælpemiddel ved fremstilling af maskindele, som skulle samles til en maskine.

1.2 Krav til de enkelte elementer

Betingelsen for at kunne sammenbygge en række præfabrikerede komponenter er, at disse er fremstillet med en passende nøjagtighed.

Som et eksempel kan betragtes den situation, hvor 5 letbetonvægelementer skal stilles op mellem to bærende tværvægge. Den faktiske afstand mellem tværvæggene er målt at være lig med 3000 mm. Hvis alle letbetonelementer er 600 mm brede, vil de lige præcis kunne anbringes i hinandens forlængelse, men der vil ikke være plads til limfugen mellem elementerne. Er et af letbetonelementerne blot 1 mm bredere, er der ikke plads til alle de lette elementer. Skal der også være plads til en 2 mm limfuge mellem elementerne, ses elementerne højst at måtte have en bredde, hvis de alle skal være lige brede på

$$\frac{3000 \text{ mm} - 6 \cdot 2 \text{ mm}}{5} = 597,6 \text{ mm}$$

Hvis fugebredden på op til 4 mm kan accepteres, bliver den mindste acceptable elementbredde:

$$\frac{3000 \text{ mm} - 6 \cdot 4 \text{ mm}}{5} = 595,2 \text{ mm}$$

Et krav om, at fugebredderne skal ligge i intervallet 2-4 mm, medfører altså et krav om, at elementbredderne skal ligge i intervallet 595,2 mm-597,6 mm. Elementbredderne må således højst variere 2,4 mm, og det bliver så et spørgsmål om at finde en fabrikant, der vil påtage sig at levere elementer, som opfylder dette krav. Dette vil næppe være muligt, hvis elementerne massefremstilles, hvorimod det selvfølgelig kan lade sig gøre, hvis elementerne specialfremstilles.

I ovenstående eksempel var der tale om, at alle elementbredder er ens, og at elementerne monteres med lige stor fugebredde.

Hvis der foreligger en elementproduktion med en garanteret elementbredde i intervallet 590 mm-500 mm, så kan kravet om en fugebredde på 2,4 mm opfyldes af elementer fra denne produktion ved passende udvælgelse af 5 elementer.

F. eks. bredderne:

590 592 596 598 600 mm
 eller
 590 598 600 600 600 mm,

hvor det første sæt giver den maksimalt tilladte fugebredde (4mm), og det andet sæt giver den minimalt tilladte fugebredde (2mm) hvis det sikres, at alle fugebredder er ens.

Vi kan altså med større tilladt variationsområde for elementbredden stadigvæk få opfyldt fugekravet, men må så foretage en udvælgelse af elementer.

Jo større krav der stilles til komponenternes nøjagtighed, des større vil fremstillingsprisen blive. Derfor bør krav om særlig stor nøjagtighed kun stilles i de tilfælde, hvor det er absolut påkrævet, og nøjagtighedskravets prismæssige konsekvenser bør derfor altid tages med i overvejelserne.

Nøjagtighedskravets størrelse vil afhænge af:

- hvilke funktionskrav det enkelte element skal tilgodesese,
- hvilke funktionskrav flere elementer skal tilgodesese i en sammenbygning, og
- hvilke justeringsmuligheder, der foreligger til at udligne målafvigelser.

Funktionskrav, der kan stille særlige krav til nøjagtighed, er f.eks.:

- Bæreevne
- Montage
- Æstetik
- Finish.

Bæreevnmæssigt er det navnlig elementtykkelserne og vederlagsdybderne, der stiller visse krav om mindstemål. Montagemæssige krav skal sikre, at det er muligt at sammenbygge komponenterne som planlagt. Æstetiske krav vil navnlig dreje sig om ensartede fugebredder ved synlige fuger, og minimal forskydning mellem flere fuger, der mødes i samme punkt.

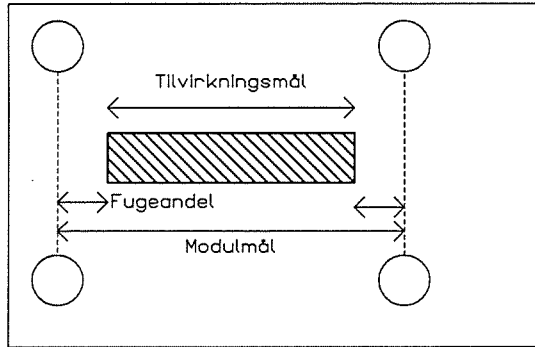
I det følgende behandles denne problematik, idet nøjagtighedskravet kan udtrykkes ved tolerancer. En tolerance er en maximal tilladelig afvigelse fra et foreskrevet mål, og defineres nøjere i næste kapitel.

2. TERMINOLOGI OG DEFINITIONER

Fra byggeriets modulordning, som er beskrevet i række Standardblade, har vi begreber som modulmål, modulnet, tilvirkningsmål og koordineringsmål (tilslutningsmål).

Modulmål

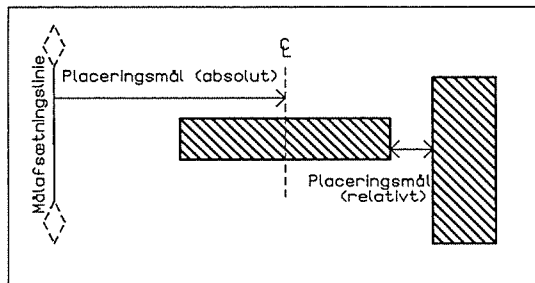
I de seneste udgaver af standardbladene er begrebet byggeomål udgået og det identiske begreb modulmål blevet den "officielle" betegnelse.



Tilvirkningsmål fugeandele

En byggekomponents placering inden for sit modulområde er således beskrevet ved komponentens **tilvirkningsmål** og **fugeandelene**, som angiver afstandene til modullinierne, der begrænser modulområdet.

Den idealt placerede komponent er anbragt midt i sit modulområde, d.v.s. med lige store fugeandele til hver side

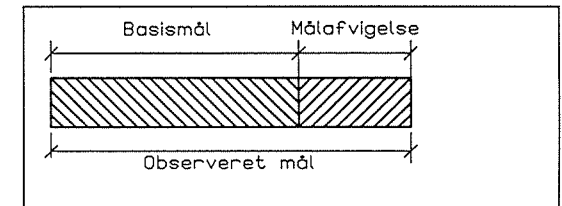


Placeringsmål

Byggekomponentens placering kan beskrives ved en række **placeringsmål** i form af afstande målt fra en anden komponent (relativ placering) eller målt fra en referencelinie (målafsætningslinie), hvilket svarer til den absolutte placering.

Basismål
Observeret mål
Målafgang

Ved beskrivelse af målafgang anvendes begrebet **basismål**, som er det foreskrevne mål, dvs det planlagte eller projekterede mål. Det faktiske mål kaldes **observeret mål** og differensen mellem observeret mål og basismål kaldes **målafgang**.

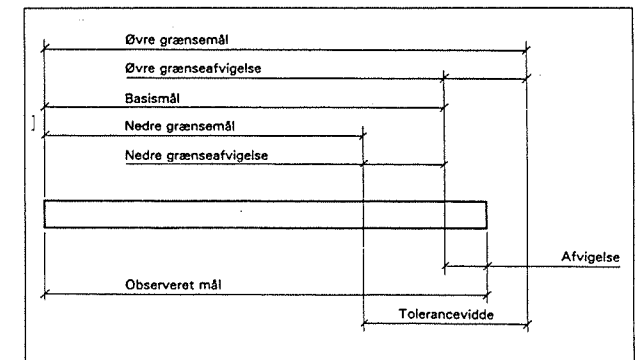


Referencetilstand

En komponents mål kan variere med temperatur, fugtindhold o.s.v., og derfor kan det være nødvendigt at angive under hvilke fysiske forhold målene er fastlagt. Ved specifikationer og aftaler bør man derfor angive de relevante fysiske forhold, **referencetilstanden**.

Tolerance

Tolerance er en tilladt variation for en vis størrelse eller mængde. Tolerancen angives sædvanligvis symmetrisk ved basismålet \pm den halve tolerancevidde. Også usymmetriske toleranceangivelser kan anvendes



Tolerancevidden: T

Tolerancevidden er således differensen mellem øvre og nedre foreskrevne grænse for det pågældende mål.

Basismål: B

Ethvert punkt på en projekteret genstand har teoretisk en bestemt position, basispositionen. Mål der fastlægger denne position betegnes **basismål**.

Punktafvigelse

Forskellen mellem et punkts observerede position (d.v.s. positionen bestemt ved måling) og basispositionen betegnes **punktafvigelsen**.

Længdeafvigelse: v

Foreskrevne længder angives ved hjælp af basismål. Forskellen mellem et observeret længdemål x og det tilsvarende basismål B , betegnes **længdeafvigelsen** v , dvs.:

$$v = x - B \quad (2-1)$$

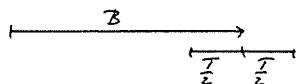
hvorved længdeafvigelsen bliver fortegnbestemt

Kravet til afvigelsen mellem basismål og observeret mål kan således udtrykkes ved:

$$-\frac{T}{2} \leq v \leq \frac{T}{2} \quad (2-2)$$

Tolerancekravet

Toleranceområde



Toleranceområdet for et mål er mængden af samtlige mål mellem de foreskrevne grænser. Sædvanligvis angives de symmetrisk i forhold til basismålet B, som $B \pm \frac{T}{2}$. For eksempel 1190 ± 5 mm. Andre angivelser kan imidlertid også forekomme, f.eks.:

$$1185 \begin{matrix} +10 \\ +0 \end{matrix} \quad \text{eller} \quad 1188 \begin{matrix} +7 \\ -3 \end{matrix}$$

Disse angivelser ses at svare til samme toleranceområde.

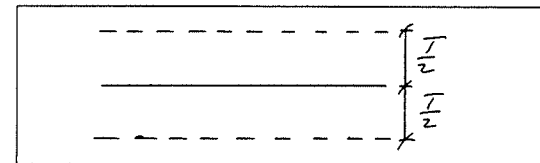
Formafvigelse

Foreskrevne geometrisk form angives ved hjælp af en basisform. Formafvigelsen kan på forskellige måder udtrykkes som længdeafvigelsen. For eksempel kan afvigelser fra en ret linie udtrykkes som afstanden fra punkter på den observerede linie og basislinien, og afvigelser fra et plan som afstanden fra det observerede plan til basisplanet.

Placering i forhold til basislinie og basisplan

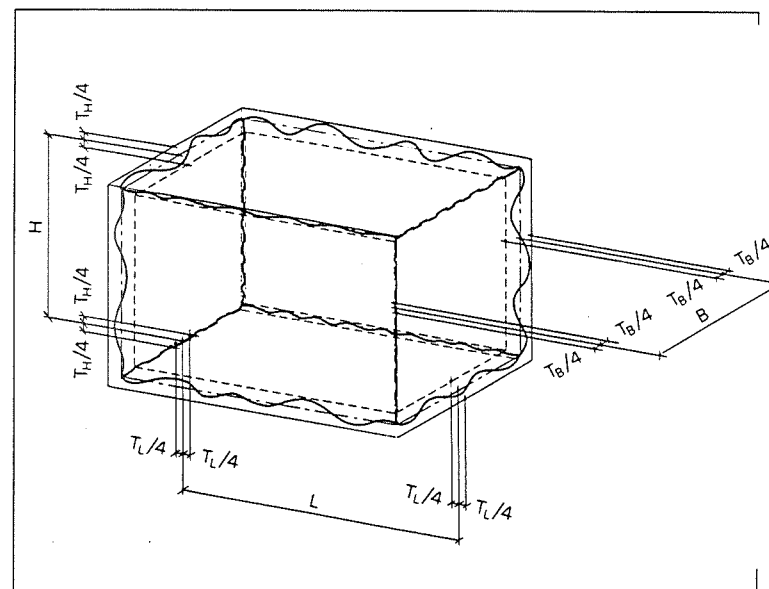
Toleranceområdet for placering i forhold til en linie er til området mellem to linier, der ligger symmetrisk om ba-

sislinien i afstanden $\frac{T}{2}$ fra dette.



Kasseprincippet

Ud fra samme princip kan toleranceområdet for et tredimensionalt legeme af vilkårlig form angives som mellemrummet mellem to figurer, hvis overflade er parallelflader til basisfigurens overflade, den ene beliggende en fjerdedel fra tolerancen inden for og den anden en fjerdedel af tolerancen uden for basisfigurens overflade. der kan vælges forskellige tolerancer i de forskellige retninger.



3. ANVENDELSE AF TOLERANCER

Det er normalt ikke alle mål, der angives med tolerancer. Det er en almindelig forudsætning, at alle mål uden toleranceangivelse fremstilles med en nøjagtighed, der er forsvarlig for det pågældende produkt.

3.1 Byggeteknisk

Sikre at sammenbygning kan ske uden yderligere tilretning.

Inden for det præfabrikerede betonelementbyggeri anvendes tolerancer for længder og form først og fremmest i forbindelse med komponenter og disses placering i bygværket for at sikre teknisk, økonomisk og æstetisk tilfredsstillende sammenbygning uden tilretning af komponenterne.

Tolerancerne kan endvidere anvendes til at sikre komponenters og konstruktioners bæreevne f.eks. i forbindelse med godstykkelser, placeringsmål for armering eller vederlagsstørrelser eller af æstetiske fra overfladers planhed eller forskydninger mellem fuger eller elementer.

3.2 Juridisk-teknisk

Tolerancebegrebet har teknisk-juridisk betydning, idet der ved toleranceangivelser kan fastslås et entydigt kriterium for, om mål er i overensstemmelse med de opstillede betingelser eller ej.

Kontrolmetode skal aftales

Er mål- og toleranceangivelser samt en metode til kontrol af disse aftalt mellem to parter, kan der kun blive tale om enten en ubetinget godkendelse eller en afvisning.

Betinget afvisning

Afvisning behøver dog ikke altid at være absolut, idet komponenter, der ikke overholder tolerancekravet, måske i visse tilfælde alligevel kan anvendes, eller måske kan gøres anvendelige efter en fejlretning.

I de fleste tilfælde vil afvisningen dog være ubetinget, idet toleranceanvendelsen ellers er meningsløs.

3.3 Produktmæssigt

Tolerancebegrebet er i fabrikationsprocessen et middel til at begrænse afvigelsens størrelse, idet man ved at foreskrive en tolerance stiller et krav til afvigelsernes fordeling, således at sandsynligheden for overskridelse af tolerancen nedadtil er passende lille og sandsynligheden for overskridelse af tolerancen opadtil ligeledes er passende lille.

Ved passende stikprøver kan man vurdere produktionsfordeling i forhold til tolerancekravet, således at man kan sikre sig, at færrest mulig elementer ikke opfylder tolerancekravet

3.4 Tolerancekrævende mål

Tolerancerne, der er aktuelle i forbindelse med præfabrikeret betonelementbyggeri, kan opdeles i:

Tilvirkningstolerancer

Tilvirkningstolerancer: Dvs. tolerancer på de tilvirkningsmål, der er afgørende for komponenternes sammenbygning, styrke og udseende.

Placeringstolerancer

Placeringstolerancer: Dvs. tolerancer på de placeringsmål, der er afgørende for komponenternes sammenbygning og for sammenbygningens styrke og udseende

Ved fastlæggelsen af et elements tilvirkningsmål må der tages hensyn til modulmål, tilvirkningstolerance, placering ved montage. Placeringsangivelsen for de enkelte elementer kan være forskellig.

Elementer, der kræver nøjagtig absolut placering

For de elementer, f.eks. vægelementer, hvis nøjagtige placering i forhold til modulnettet er af afgørende betydning, angives placeringen direkte ved nøjagtig afmærkning på den allerede monterede del af bygningen, og placeringens nøjagtighed vil så afhænge af, hvor nøjagtigt elementet kan monteres. For disse elementer vil placeringstolerancen være sammensat af en afsætningstolerance og en monterings tolerance.

Elementer, der kun kræver nøjagtig relativ placering

For de andre elementer, hvor der ikke kræves helt sammen placeringsnøjagtighed, fastlægges placeringen ved relative placeringsmål i forhold til allerede monterede elementer. Derved vil der være mulighed for en ophobning af målafvigelser hidrørende fra fugerne og elementernes tilvirkningsmål og indbyrdes placeringsmål.

En vurdering af denne sammenbygnings ophobning af målafvigelser, og det vil i realiteten sige det sidst monterede elements placeringsnøjagtighed, vil kræve hensyntagen til langt flere størrelser end vurderingen af placeringsnøjagtigheden for det element, for hvilket der er krævet en nøjagtig (absolut) placering

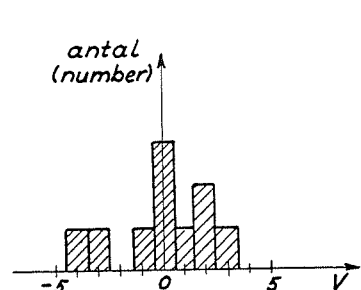


Fig. 1

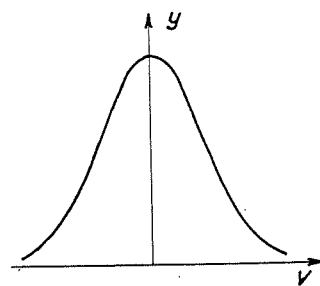


Fig. 2

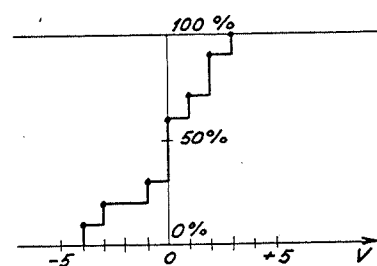


Fig. 3

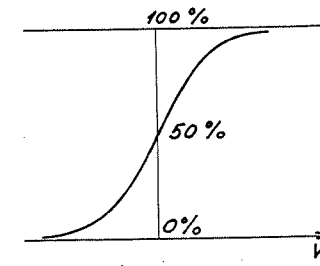


Fig. 4

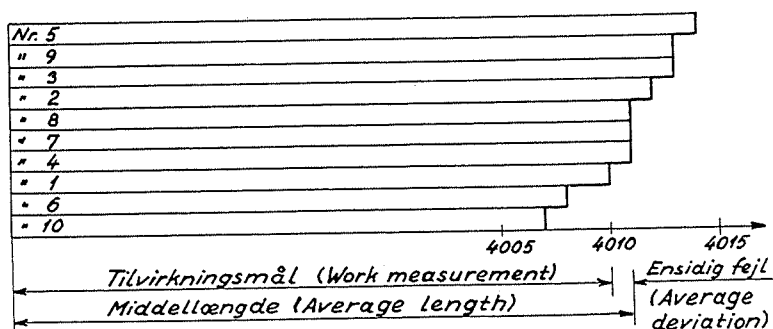


Fig. 5

4. BETONELEMENTERS MÅLAFVIGELSE, OG TOLERANCER

4.0 Målafvigelsernes årsager

Årsagerne til målafvigelser ved betonelementproduktion er ifølge Dragsholt [3] følgende:

- a: bidrag fra formfremstilling, formopstilling og formkonstruktion,
- b: bidrag fra formrengøring og formsamling,
- c: bidrag fra udstøbning og afretning,
- d: bidrag fra håndtering og oplagring,
- e: bidrag fra hærdning og klima
- f: bidrag fra kontrolmåling, herunder målemetode, operatør og udstyr.

Formfremstilling m.v.

a: Disse bidrag kan nedbringes ved fornuftig formkonstruktion og materialevalg, kvalificeret forarbejde og opstilling. Træforme med træafstivninger giver store målafvigelser, idet træet kan kaste sig på grund af fugtvariation. Desuden er sliddet på træforme relativt stort. Anvendes dyre træsorter eller en kombination af et stålskelet og formsider og bund af træ kan væsentlig mindre målafvigelser opnås for en relativ lille produktion. Mindst målafvigelse kan opnås ved anvendelse af stålforme, men disse er dyre at fremstille. Der må således ske en afvejning af den ønskede tolerance, formfremstillingsudgifterne og den produktionsmængde, som formen skal afskrives over. Målafvigelserne kan vanskeligt komme under 1-2 mm.

Formrengøring og -samling

b: Disse bidrag kan nedbringes ved fornuftig formkonstruktion og instruktion af operatøren.

Udstøbning og afretning

c: Bidragene fra udstøbning og afretning kan nedbringes noget ved passende valg af arbejdsmetode, men målafvigelser for op siden vil kun vanskeligt bringes under 3-5 mm.

Håndtering og oplagring

d: Bidragene fra håndtering og oplagring stammer hovedsageligt fra lastafhængige deformationer af nyligt afformede betonelementer og kan nedbringes noget ved fornuftige understøtningsforhold.

Hærdning og klima

e: Bidragene fra betonens hærdning og klimabetingede deformationer kan være uden for producentens kontrol.

De senere års øgede viden om betonens hærdning skulle dog give mulighed for en vis styring. Krav til afvigelserne om overholdelse af tolerancer vil normalt være gældende på leveringstidspunktet, ved en bestemt refe-

recetemperatur og forudangivne understøtningsbetingelser.
 Ved måling på et senere tidspunkt og under andre betingelser end de foreskrevne må omregning til referenceniveauet ske under hensyntagen til temperatur- og vindbevægelser samt lastafhængige deformationer.

Kontrolmetode

ad f: Bidragene fra kontrolmålingerne kan ved passende valg af måleudstyr og måleprocedure gøres uvæsentlige i forhold til de målafvigelse, der skal måles.

4.1 Betonelementers målafvigelser i praksis

De faktiske målafvigelser på standardbetonelementer afhænger af, i hvilket omfang fabrikken tager hensyn til de i forrige afsnit angivne årsager.

I [5] er angivet nedenstående tabel, som stammer fra en bearbejdning af kontrolmålinger på fire store elementfabrikker. Eksemplerne stammer fra større serieproduktioner og må betragtes som noget af det bedste, der kunne opnås ved en omhyggelig og kontrolleret produktion omkring 1970.

Der er foretaget målinger af tykkelse (T), bredde (B), højde (H) og længde (L), og der er for hver elementtype beregnet gennemsnit: \bar{x} og spredning: s for de enkelte mål.

Differencen mellem gennemsnittet og basismålet afslører en systematisk afvigelse. Målafvigelseernes størrelse og omfang er angivet ved såkaldte 2s-grænser, idet disse for en normalfordeling angiver det område symmetrisk om middelværdien indenfor hvilke 95% af målene vil befinde sig.

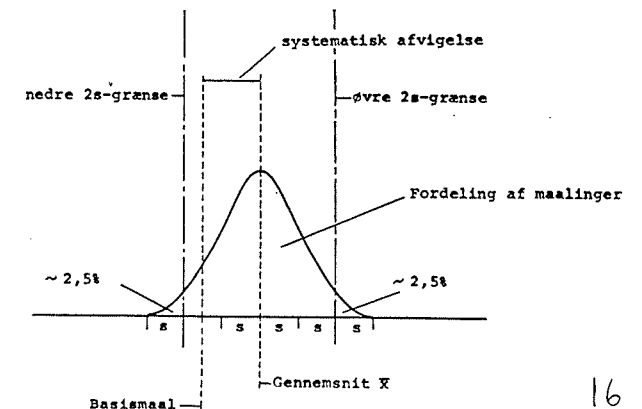
I tabellen er 2s-grænserne angivet i forhold til basismålet.

Dimensionskontrol for jernbetonelementer									
Art	Antal målinger	Max. dim	Standard-element	Form	Støbemetode	Målemetode	2s-grænser mm		
Bjælker Søjler	68	<6m	ja	stål	vandret støbt stavvibrering varmhærdning	stålmelebånd	L: +12	-8	
							B: +04	-1	
							H: +12	-3	
Facader Gavle Vægge	107	<3,6 * 2,6 m	nej	stål, polyester og træ	vandret støbt formvibrering varmhærdning	stålmelebånd og skydelære	B: +8	-8	
							H: +8	-5	
							T: +7	-5	
Vægge	24	<6 * 2,6 m	nej	stål	vandret støbt formvibrering varmhærdning	stålmelebånd	B: +8	-6	
							H: +10	0	
Vægge	222	<3,6 * 2,6 m	ja	stål	lodret støbt stav- & formvibr. varmhærdning	stangmål skydelære	B: +4	-3	
							H: +6	-3	
							T: +2	-5	
Dæk	192	<6 m	ja	stål	vandret støbt formvibrering varmhærdning	stålmelebånd stangmål skydelære	L: +5	-2	
							B: +5	-3	
							T: +10	-6	
Dæk	15	<6 m	nej	stål	vandret støbt formvibrering varmhærdning	stålmelebånd skydelære	L: +10	-5	
							B: +7	-5	
							T: +8	-6	

Dimensionskontroller for forskellige jernbetonelementer af største udstrækning ca. 6 m.
 Kontrolresultaterne er angivet som afvigelsesområdet $x \pm 2s$ for længder, bredder og tykkelser.

Det er sådanne måleresultater, der må danne grundlag for producentens tilbud om fremstillingstolerancer. Dækelementernes længder vil eksempelvis for 95% af elementerne afvige maksimalt mellem +5 mm og -2 mm og tykkelserne tilsvarende mellem +10 mm og -6 mm.

Hvis køberens tolerancekrav kan opfyldes af disse tal, så ved producenten, at sandsynligheden for at stille køberen tilfreds er 95%. Strengere tolerancekrav til vanskeligere kunne opfyldes.



4.2 Tolerancer for betonelementers hovedmål

I informationsmaterialet om forskellige elementfabrikkers produktion er som regel angivet de tolerancer, som deres produkt garanteres at overholde.

Tolerancen på et bestemt mål f.eks. dækelementbredden er stort set den samme for alle fabrikanter, idet disse værdier er tilstræbt gjort ensartede gennem Betonelementforeningen. På næste side er angivet de af Betonelementforeningen anbefalede tolerancer for betonelementer i almindelig god udførelse [2].

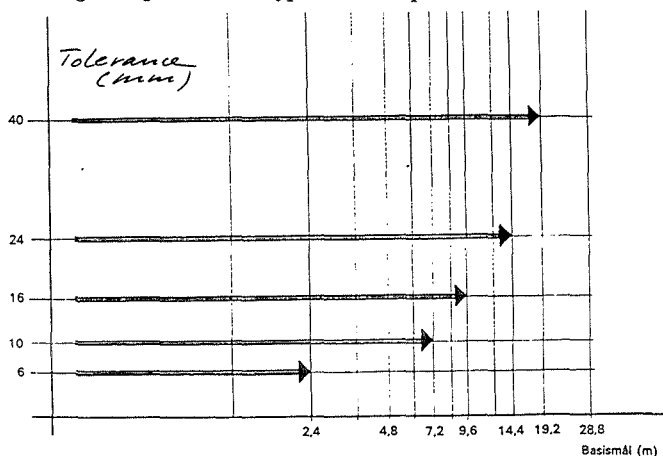
For enkelte fabrikanter kan der for visse mål være tale om mindre tolerancer end de angivne, idet disse fabrikanter derved vil kunne tilfredsstille tolerancekrav, der er skærpede i forhold til Betonelementforeningens anbefalede tolerancer.

Præferencetal for tolerancer

Nedenfor er vist en sammenhæng mellem basismål og mindst mulige tolerancer, idet disse er i overensstemmelse med de anbefalede værdier i DS 1100 "Præferencetal for tolerancer". Det drejer sig om følgende talrække for tolerancevidder:

10 mm, 16 mm, 24 mm, 40 mm og 60 mm.

Denne talrække anbefales for at begrænse antallet af forskellige tolerancevidder. En tolerancevidde på 6 mm indgår altså ikke i præferencetalrækken, men optræder dog ofte og der tales så typisk om skærpede tolerancer



Mindste tolerance afhængig af basismåls størrelse.

Dansk Betonforening og Betonelement-foreningens anbefalinger [2]

Tolerancer for betonelementers hovedmål

Normal tolerance T
Facade- og vægelementer, slaptarmede

tykkelser		10 mm ¹⁾
bredder	$B \leq 2,4$ m	10 mm
	$B \leq 7,2$ m	16 mm
	$7,2 < B \leq 9,6$ m	24 mm
højder	$H \leq 7,2$ m	16 mm
	$7,2 < H \leq 9,6$ m	24 mm

Huldækelementer m.v., slaptarmede

tykkelser		10 mm
bredder	$B \leq 2,4$ m	10 mm
	$2,4 < B \leq 7,2$ m	16 mm
længder	$L \leq 7,2$ m	24 mm

Huldækelementer, forspændte

tykkelser		16 mm ²⁾
bredder	$B \leq 2,4$ m	10 mm
længder	$L \leq 7,2$ m	24 mm
	$7,2 < L \leq 14,4$ m	40 mm

Bjælke- og søjlelementer, slaptarmede eller forspændte

højder	$H \leq 0,6$ m	16 mm
	$0,6 < H \leq 2,4$ m	24 mm
bredder	$B \leq 2,4$ m ved $H \leq 0,6$ m	16 mm
	ved $0,6 < H \leq 2,4$ m	24 mm
længder	$L \leq 14,4$ m	40 mm
	$14,4 < L \leq 28,8$ m	60 mm

Store pladeelementer, slaptarmede eller forspændte

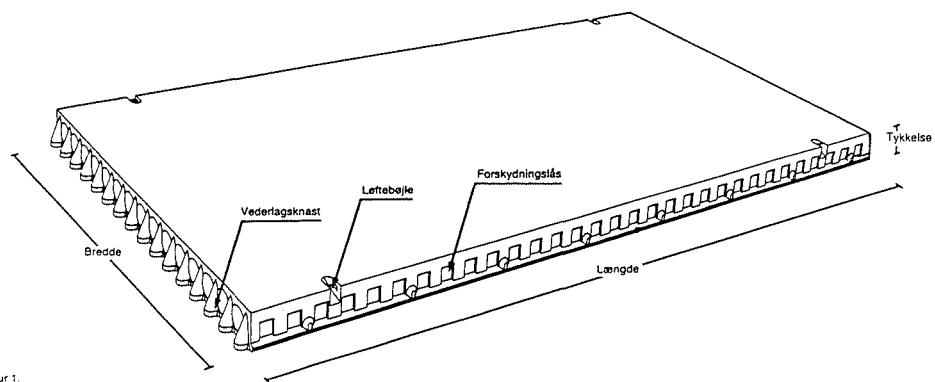
højder		24 mm
bredder	$B \leq 2,4$ m	16 mm
	$2,4 < B \leq 7,2$ m	24 mm
længder	$L \leq 14,4$ m	40 mm
	$14,4 < L \leq 28,8$ m	60 mm

En skærpet tolerance kan overholdes i visse tilfælde, hvor der anvendes særligt produktionsudstyr, forme eller produktionsmetoder, normalt dog højst i trin lavere i rækken af præferencetal (6 - 10 - 16 - 24 - 40 - 60). Specifikation af en skærpet tolerance kan medføre væsentlige fordyrelser, og unødigt små tolerancer bør derfor undgås.

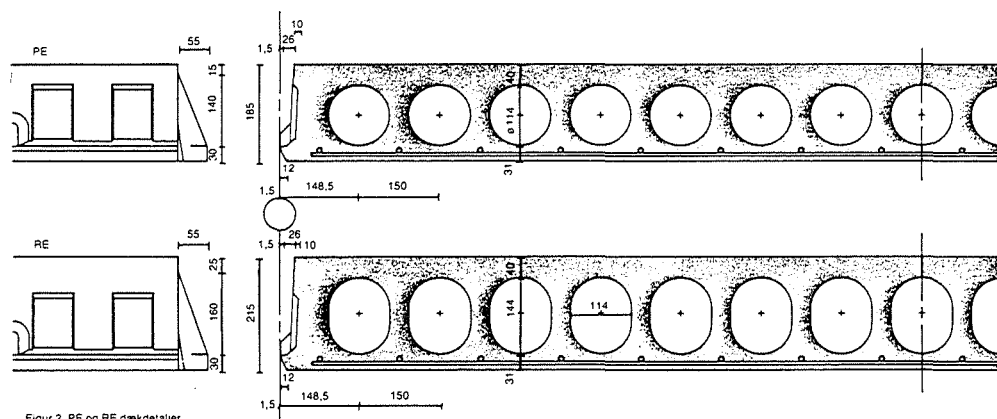
¹⁾ En mindre tolerance (6 mm) kan kun opnås ved lodret støbte vægelementer eller ved vandret støbte elementer langs kanter.

²⁾ En mindre tolerance (10 evt. 6 mm) kan kun opnås langs kanter eller ved glitning af oversiden.

Dæk



Figur 1.



Figur 2. PE og RE dækedetaljer.

Tolerancer

Dækelementerne opfylder skærpede tolerancekrav som de er angivet i »Tolerancer for betonelementers hovedmål«, udgivet maj 1975 af Dansk Betonforening og Betonelement-Foreningen:

Dæklængde	± 8 mm
Dækbredde (standard):	± 3 mm
Dækbredde (varianter):	± 8 mm
Dækykkelse:	± 8 mm
Placering af indstøbninger og udsparinger:	± 10 mm
Udsparingers størrelse:	± 10 mm

Betonkvalitet

Standard er karakteristisk betonstyrke = 25 MPa til anvendelse i passiv miljøklasse.

Armering

Dimensionering og placering af armering foretages normalt af Højgaard & Schultz. Dækkene standardarmeres med svejste kamstålnet af KS 550 S.

Ved belastninger større end almindelig boliglast skal dækkene ekstraarmeres. Oversidearmering kan udføres, hvor det er påkrævet.

Overflader

Dækelementernes overside er plan og ru. Undersiden er glat og egnet til sprøjtning med strukturmaling, eller med almindelig maling efter en let forbehandling afhængig af den ønskede overflade.

Dækkundersiden overholder kravene i BPS-publikation 24, specifikation BO-18.

Kontrol

Fabrikken er tilsluttet BEK kontrolordningen og gennemfører en omfattende kvalitetskontrol af den løbende produktion.

Data fra denne kontrol fremlægges efter aftale. Højgaard & Schultz-dæk fremstilles i henhold til DS 411 med skærpet kontrol.

Bæreevne/Tværsnitkonstanter

Højgaard & Schultz-dæk er dimensioneret for almindelig karakteristisk boliglast: gulv 0,5 kN/m² + lette vægge 1,5 kN/m² + bevægelig belastning 1,5 kN/m². Bæreevnekurver er vist på figur 3.

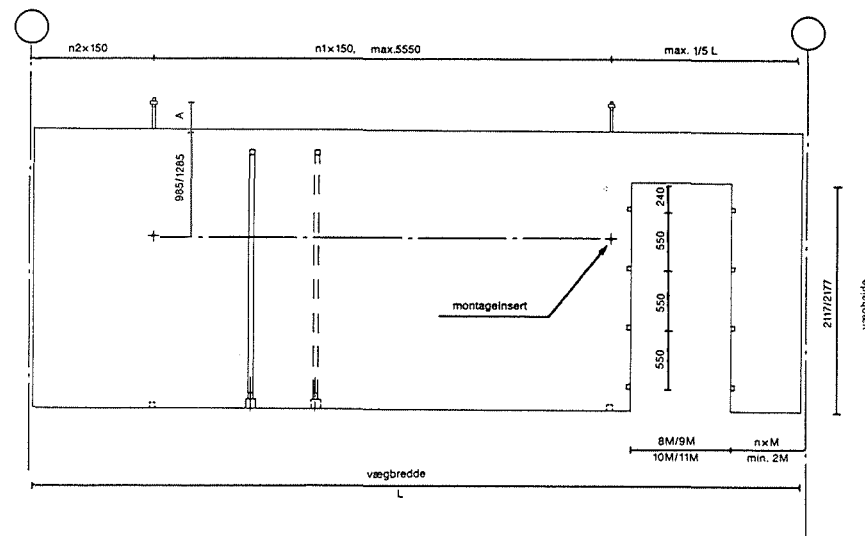
Dækkenes ultimale regningsmæssige forskydningsbæreevne, V_{ud} , er:

PE-dæk	32 kN/m
RE-dæk	35 kN/m

	PE	RE
Vægt kN/m ²	3,00	3,30
Betontværsnit mm ²	150600	162600
Inertimoment mm ⁴	575×10 ⁶	868×10 ⁶

Tablet 1. Tværsnitkonstanter for 12M-dæk med udstøbte fuger.

Vægge



Figur 1

Vægtype	Vægghøjde mm	Fuge mm	Dæk type	Dæk mm	Etagehøjde mm	Modulbredde	Tilvirkningsmål
LE, LS	2355	30	RE/DE	215	2600	12-24-36M	Modulbredde - 3 mm*)
ME, MS	2385	30	PE	185	2600		
NE, NS	2555	30	RE/DE	215	2800	48-60M	Modulbredde - 5 mm
VE, VS	2585	30	PE	185	2800		
XE, XS	øvrige		valgfri			72M og derover	Modulbredde - 8 mm
HE, HS	øvrige		valgfri				

Tablet 1. Højder og bredder

*) Se første afsnit i teksten.

* Hvor der er tolerancekrav til placeringen af det enkelte vægelement bør projekteres med en fugebredde på ikke mindre end 8 mm.

Tykkelse: Programmet indeholder standardtykkelserne 100, 120, 150, 180, 200, 230 og 250 mm.

Andre tykkelser kan udføres som specialvægge.

Vægt: Maximalvægten pr. vægelement er af transportmæssige årsager 10 tons for batterivægge og 8 tons for specialvægge.

Døråbninger

Standarddøråbninger udføres i modulbredderne 8M, 9M, 10M og 11M. Placeringen kan vælges frit, dog skal dørøjler være minimum 2M.

Standarddøråbningens højde er normalt 2117 mm eller 2177 mm afhængig af gulvets placering.

Tolerancer

Elementerne fremstilles i i overensstemmelse med toleranceangivelserne i »Tolerancer for betonelementers hovedmål«, udgivet maj 1975 af Dansk Betonforening og Betonelement-Foreningen:

Tykkelse:	± 5 mm
Bredde:	B ≤ 2,4 m ± 5 mm
	2,4 m < B ≤ 7,2 m ± 8 mm
	7,2 m < B ± 12 mm
Højde:	± 8 mm
Placering af indstøbninger og udsparinger	± 10 mm
Størrelse af udsparing	± 10 mm

Betonkvaliteter

Standard er karakteristisk betonstyrke = 25 MPa til anvendelse i passiv miljøklasse. Vægelementer kan leveres i beton til anvendelse i moderat miljøklasse, som specialvægge.

Armering

Vægelementer leveres normalt uarmere, bortset fra randarmering og specielle armeringer, f.eks. ved dørbjælker og dørøjler. Standard er kamstål, KS 410S.

Ved større belastninger forsynes elementerne med netarmering, af koldtrukket profileret stål.

Overflader

Formenes sider er af stål og giver elementoverflader, der er egnede til tapetsering eller anden vægbehandling. Overflader støbt mod form overholder kravene i BPS-publikation 24, specifikation BO-21.

For vandretøbte elementer gælder tilsvarende at overflader støbt mod form side overholder kravene i BPS-24 - BO-12 og oversiden BPS-24 - BO-13.

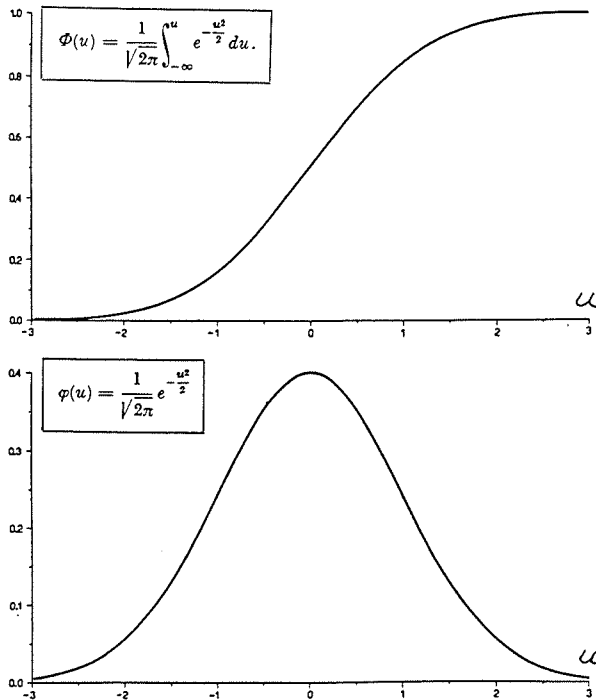
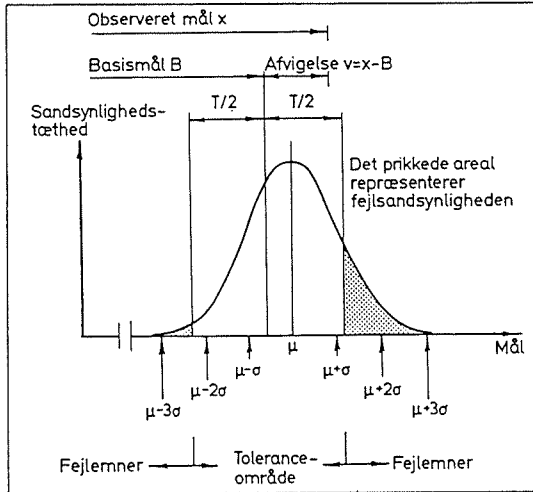


Fig. 6.1. Den normerede, normale Sumkurve, $y = \Phi(u)$, og Fordelingskurve, $y = \varphi(u)$.

TABEL 6.1.
Den normerede, normale Fordeling.
Sumfunktionen.

u	$\Phi(u)$	u	$\Phi(u)$
-3.29	0.0005	0.00	0.50
-3.09	0.001	0.25	0.60
-2.58	0.005	0.52	0.70
-2.33	0.01	0.84	0.80
-1.96	0.025	1.28	0.90
-1.64	0.05	1.64	0.95
-1.28	0.10	1.96	0.975
-0.84	0.20	2.33	0.99
-0.52	0.30	2.58	0.995
-0.25	0.40	3.09	0.999
-0.00	0.50	3.29	0.9995

4.3 Kontrol af tolerancers overholdelse

Vi betragter et mål, f.eks. et dækelements længde, om hvilket det forudsættes, at dets målafvigelser skal ligge inden for et givet toleranceområde (jvf. (2-2)).

Hvis vi tager ∞ -mange stikprøver på målet x , så er det en erfaring, at disse x -er for betonelementer stort set er normalfordelte. Antages det derfor, at x er normalfordelt, kan vi ved hjælp af gængse statistiske metoder beregne sandsynligheden for, at tolerancekravet er opfyldt.

Følgende betegnelser anvendes:

μ : middelværdi af måleafvigelse ($v = x - B$)

σ : spredning af måleafvigelse ($v = x - B$)

p_+ : sandsynlighed for at $v \geq \frac{T}{2}$

p_- : sandsynlighed for at $-\frac{T}{2} \geq v$

Der gælder så:

$$p_+ = S\left\{v \geq \frac{T}{2}\right\} = S\left\{\frac{v-\mu}{\sigma} \geq \frac{\frac{T}{2}-\mu}{\sigma}\right\} = 1 - \Phi\left\{\frac{\frac{T}{2}-\mu}{\sigma}\right\}$$

hvor Φ er den normerede normalfordelings sumfunktion.

Tilsvarende fås

$$p_- = S\left\{v \leq -\frac{T}{2}\right\} = S\left\{\frac{v-\mu}{\sigma} \leq \frac{-\frac{T}{2}-\mu}{\sigma}\right\} = \Phi\left\{\frac{-\frac{T}{2}-\mu}{\sigma}\right\} = 1 - \Phi\left\{\frac{\frac{T}{2}+\mu}{\sigma}\right\}$$

Vi får således, at den samlede fejlsandsynlighed bliver:

$$p_+ + p_- = 2 - \Phi\left\{\frac{\frac{T}{2}-\mu}{\sigma}\right\} - \Phi\left\{\frac{\frac{T}{2}+\mu}{\sigma}\right\} \quad (4.3-1)$$

De i afsnit 4.2 angivne tolerancer for betonelementer svarer til $p_+ + p_- = 10\%$, idet man har indsamlet til-

strækkelig information til at kunne bestemme μ og σ , hvorefter T kan beregnes indirekte af (4.3-1).

$$\text{Indføres } a_+ \text{ og } a_- \text{ ved: } \begin{cases} a_+ = \frac{T/2 - \mu}{\sigma} \\ a_- = \frac{T/2 + \mu}{\sigma} \end{cases}$$

så kan den øvre tolerancegrænse $+\frac{T}{2}$ og den nedre tolerancegrænse $-\frac{T}{2}$ skrives:

$$\begin{cases} +\frac{T}{2} = \mu + a_+ \sigma \\ -\frac{T}{2} = \mu - a_- \sigma \end{cases} \quad (4.3-2)$$

Hvis $p_+ = 7\%$ og $p_- = 3\%$ så er $a_+ \cong 1,50$ og $a_- \cong 1,90$

Kontrol af om tolerance krav overholdes

Ønsker man at kontrollere om en given produktions-serie overholder tolerancekravet, er det uoverkommeligt at gennemmåle alle elementer. I stedet udtager man et begrænset antal, og bestemmer disses målafvigelse, dvs.:

$$v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n$$

Derefter beregnes den empiriske middelfvigelse \bar{v} og den empiriske spredning s af:

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (4.3-3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n-1}} \quad (4.3-4)$$

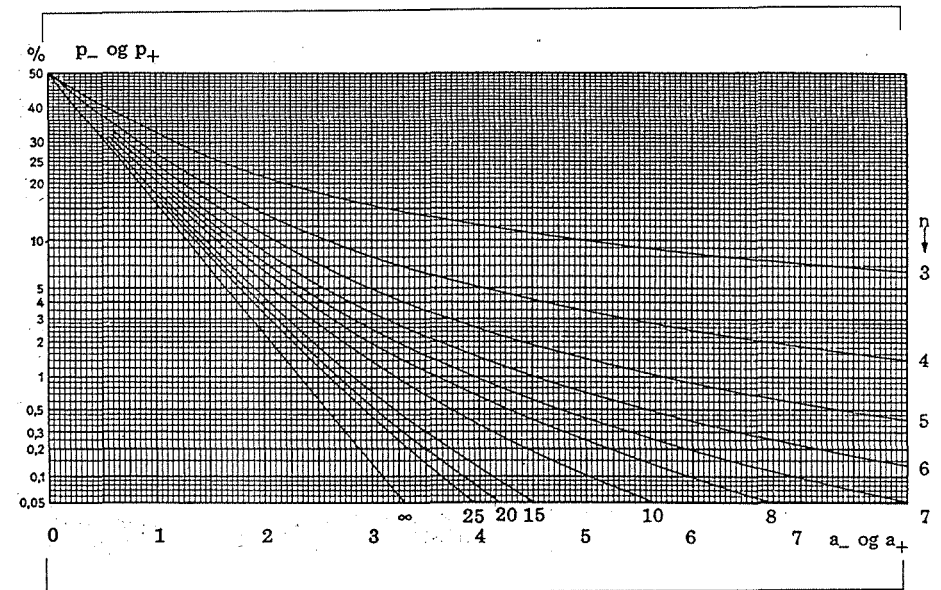
Analogt med (4.3-2) kan tolerancegrænserne nu skrives

$$\begin{cases} +\frac{T}{2} = \bar{v} + a_+ s \\ -\frac{T}{2} = \bar{v} - a_- s \end{cases} \quad (4.3-5)$$

Da \bar{v} og s kun er skønnede værdier for μ og σ , vil der til givne værdier af p_+ og p_- ikke svare de samme værdier for a_+ og a_- , som i (4.3-2).

I DS/R 1050 [1] er angivet nedenstående diagram til fastlæggelse af sammenhængen mellem p_+ , p_- , a_+ og a_-

afhængig af stikprøvens størrelse n .



Stikprøvekontrol

I en stikprøvekontrol er fremgangsmåden normalt, at man beregner:

$$a_+ = \frac{T/2 - \bar{v}}{s} \text{ og } a_- = \frac{T/2 + \bar{v}}{s} \quad (4.3-6)$$

Ved at gå ind i diagrammet med n og a_+ eller a_- , kan sandsynlighederne for, at tolerancegrænsen vil blive overskredet opad (p_+) og nedad (p_-), bestemmes.

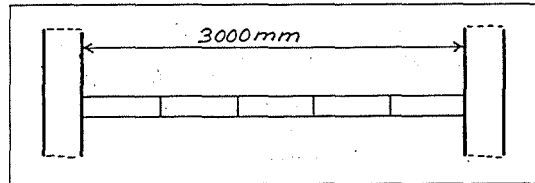
Hvis toleranceaftalen er, f.eks. at $p_+ + p_- \leq 10\%$, og dette viser sig at være tilfældet, vil produktionsserien overholde tolerancekravet.

En mere detaljeret beskrivelse af den statistiske metode til kontrol af tolerancekravets opfyldelse findes i [1].

5. SAMMENBYGNINGERS MÅLAFVIGELSE

5.1 Indledning

Vi betragter igen den tidligere omtalte situation, hvor der mellem to tværvægge med indbyrdes afstand 3000 mm skal opbygges en tværvæg af 5 letbetonvægelementer.



Elementerne $\overset{r}{\text{an}}$ leveres med en tolerancevidde på bredde-målet 6 mm ($= \pm 3$ mm)
dvs. $T_b = 6$ mm

Opgaven er nu at fastlægge basismålet B_b på vægelementbredden, således at 5 vilkårlige vægelementer fra produktionen altid kan monteres, idet vægelementerne må skubbes tæt sammen (faktisk fugebredde = 0).

Hvis vægelementerne stilles op i rækkefølge ved, at der startes ved den ene tværvæg med knasfuge, vil der mellem det sidste vægelement og den anden tværvæg være en fuge med en faktisk fugebredde ≥ 0 . Denne fugebredde ønskes gjort så lille som mulig.

Det "værste", der kan ske, er at:

enten har alle elementer den størst tilladelige bredde,
dvs. $b_{max} = B_b + \frac{1}{2} T_b$

eller har alle elementer den mindst tilladelige bredde,
dvs. $b_{min} = B_b - \frac{1}{2} T_b$

Fugebredden x_f mellem det sidst monterede letbetonelement og den anden tværvæg er:

$$x_f = 3000 \text{ mm} - (b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + b_5)$$

hvor b_1, \dots, b_5 er de faktiske bredder på letbetonelementerne.

Der gælder

$$x_{f,max} = 3000 - 5 b_{min} = 3000 - 5 B_b + 5/2 T_b$$

$$x_{f,min} = 3000 - 5 b_{max} = 3000 - 5 B_b - 5/2 T_b$$

Da $T_b = 6$ mm og $x_{f,min} \geq 0$ fås:

$$5 B_b \leq 3000 - 5/2 \cdot 6 - 0 = 2985 \Rightarrow B_b \leq 597 \text{ mm}$$

Da $x_{f,max} = 3000 + 5/2 \cdot 5 - 5 B_b = 3015 - 5 B_b$ bliver fugen altså mindst mulig, hvis $B_b = 597$ mm

Fugen bliver i værste tilfælde, dvs. hvis alle elementer er smallest tilladeligt

$$x_{f,max} = 3015 - 5 \cdot 597 = 30 \text{ mm}$$

Sandsynligheden for, at alle elementbredder er enten lig b_{min} eller lig b_{max} , er overordentlig lille.

Til gengæld er vi 100% sikre på, at alle elementer med mål $B_b \pm \frac{1}{2} T_b = 597 \pm 3$ mm altid kan monteres, hvis alle elementer med breddemål uden for toleranceområdet afvises.

Hensyntagen til statistisk variation

Tager man imidlertid hensyn til den statistiske variation af elementbredden, og regner den normalfordelt med $\mu_b = 0$ og $p_+ + p_- = 5\%$, vil der gælde, at sandsynligheden for, at elementet ikke overholder tolerancekravet, er 5%. Som det senere vises, kan det så beregnes, at der er 95% sandsynlighed for, at fugebredden bliver mellem

$$8 \text{ mm} \leq x_f \leq 22 \text{ mm}$$

Det fremgår heraf, at sandsynligheden for med disse elementer at få en fugebredde større end nul, uden at skulle kassere elementerne, er større end 95%.

Hvis man altså vil nøjes med at være 95% sikker på, at 5 vilkårlige vægelementer fra produktionen vil kunne monteres mellem tværvæggene, kan man enten anvende elementer med større basismål og samme tolerance, eller elementer med samme basismål og større tolerance.

D.v.s. enten 598 ± 3 mm
eller 597 ± 5 mm

Den besparelse, der kan ligge i at anvende elementer med større tolerancer, f.eks. 597 ± 5 mm i stedet for 597 ± 3 mm, må så sammenholdes med den 5% risiko, der er for, at 5 vilkårlige elementer ikke kan monteres, hvorfor det bredeste enten må byttes eller skæres til.

5.2 Sammenbygningers basismål

I mange montagesituationer stille man krav om særlig stor nøjagtighed til visse mål, der fremkommer som resultat af sammenbygning af flere komponenter (jvf. forrige afsnit).

Målafvigelsen for et sådant (af en sammenbygning betinget) mål vil afhænge af montageteknik, montererækkefølge og målafvigelserne på de enkelte elementer i sammenbygningen. f.eks. målafvigelserne på afsætningsmål, tilvirkningsmål og fugemål

I det følgende gennemgås to beregningsmodeller til vurdering af størrelsen af målafvigelsen for et mål, der er resultat af en sammenbygning

Enhver komponent i en sammenbygning kan beskrives ved følgende geometriske størrelser:

placeringsmål og tilvirkningsmål.

Tilsvarende vil fugerne mellem komponenterne kunne beskrives ved

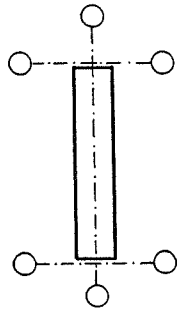
placeringsmål og fugemål.

Placeringsmålet kan være et mål, der enten fastlægger komponentens eller fugens absolutte placering i forhold til modullinierne, eller som fastlægger komponentens eller fugens placering i forhold til allerede monterede komponenter.

Placeringsmål for absolutte placeringer vil normalt være angivet i forhold til komponenternes midterplaner, medens relative placeringer normalt angives som afstande mellem komponenter.

Komponenternes tilvirkningsmål og fugemål vil normalt fremgå af projektmaterialet, idet komponenterne på tegningerne er angivet med deres basisplacering i forhold til modulnettet.

Normalt vil komponenterne være placeret midt imellem de modullinier, der begrænser deres modulområde. Det gælder f.eks. vægelementers og dækelementers placering i deres plan, medens vægelementernes placering vinkelret på deres plan ofte er med symmetriplanen sammenfaldende med en modulplan.



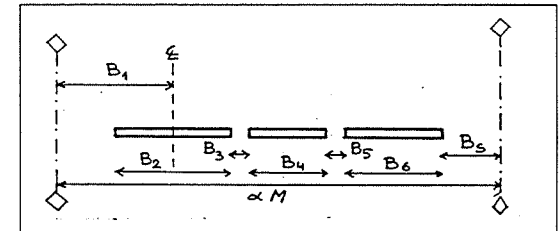
Basismål for sammenbygning

En sammenbygning vil vi nu betragte som en sammensætning af en række mål, d.v.s. placeringsmål, fugemål og tilvirkningsmål. Disse vil vi betragte som en art fiktive elementer, således at vi kan tillægge hvert element et basismål.

Basismålet B_S for en sammenbygning vil så kunne skrives som en linearkombination af sådanne elementer med basismål B_i eller dele deraf. Dvs.:

$$B_S = \sum_{i=1}^n k_i B_i \quad (5.2-1)$$

hvor k_i angiver dels hvor stor en del af det i 'te element, der indgår i sammenbygningen, dels det fortegn, hvorved det i 'te element indgår i sammenbygningen.

Eksempel 5.2-1

Tre vægelementer skal opstilles i forlængelse af hinanden. Det første elements placering er givet ved placeringsmålet B_1 til midten af elementet med basisbredden B_2 . Adskilt med en fuger med basismål B_3 opstilles så det næste vægelement osv.

Lad det nu være af interesse at få undersøgt, hvor stor afstanden er fra kanten af det sidste element til en given modullinie i afstanden αM fra udgangsmodullinien. Denne afstand er resultatet af den beskrevne sammenbygning og dens basismål er:

$$B_S = \alpha M - B_1 - \frac{1}{2} B_2 - B_3 - B_4 - B_5 - B_6$$

Målafvigelse på sammenbygning

Målafvigelsen på en sammenbygning vil fremgå af samme linearkombination som basismålet, idet de enkelte elementers basismål i (5.2-1) ombyttes med de samme elementers målafvigelser. D.v.s.:

$$v_S = \sum_{i=1}^n k_i v_i \quad (5.2-2)$$

Eksempel 5.2-2

For sammenbygningen i eksempel 5.2-1 vil der gælde:

$$v_S = -v_1 - \frac{1}{2}v_2 - v_3 - v_4 - v_5 - v_6$$

Idet afstanden αM mellem målafsningslinierne ikke varierer.

5.3 Det additive princip

Den første metode til vurdering af størrelsen af en sammenbygningens målafvigelse ud fra de enkelte elementers målafvigelser kaldes det additive princip.

$\emptyset G_S$ og NG_S

Hvis vi med $\emptyset G_S$ og NG_S betegner øvre henholdsvis nedre grænseafvigelse for sammenbygningen, dvs.

$$NG_S \leq v_S \leq \emptyset G_S \quad (5.3-1)$$

og forudsætter, at de enkelte delelementer har symmetriske tolerancer, dvs.

$$-\frac{T_i}{2} \leq v_i \leq \frac{T_i}{2}$$

så vil der gælde:

$$v_S = \sum_{i=1}^n k_i v_i \leq \sum_{i=1}^n k_i \frac{T_i}{2} \leq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |k_i| T_i = \emptyset G_S$$

$$NG_S = -\emptyset G_S = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n |k_i| T_i$$

Analogt til tolerancevidden T_i kan vi indføre afvigelsesvidden A_S for sammenbygningen:

$$A_S = \emptyset G_S - NG_S \quad (5.3-2)$$

og får så:

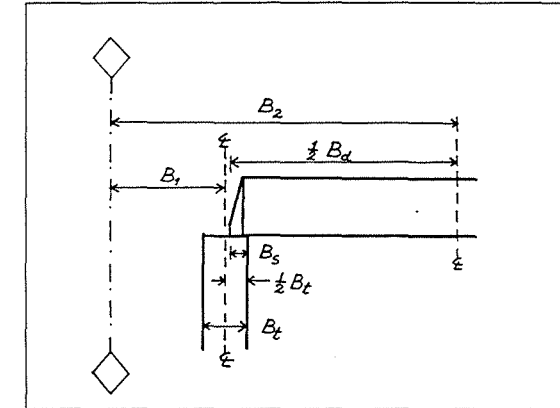
$$A_S = \sum_{i=1}^n |k_i| T_i \quad (5.3-3)$$

Her er således regnet med den kombination af samtidige

maksimum- eller minimummål for de enkelte elementer, som giver de største numeriske målafvigelser for sammenbygningen.

Hvis vi i forbindelse med sammenbygningen har afvist alle del-elementer, der falde udenfor de respektive del-toleranceområder, vil der være 100%'s garanti for, at sammenbygningens målafvigelse vil falde inden for intervallet givet ved (5.3-1) og (5.3-2).

Eksempel 5.3-1



I dette eksempel undersøges vederlagsdybdens variation for et dækelement, der hviler af på to vægelementer

Ved montagen søges både væg- og dækelement absolut placeret i forhold til en målafsningslinie. Vægelementet styres ind i lodret position. Montageboltens placering i forhold til målafsningslinien er justeret inden vægelementmontagen

Dækelements placering sker ved at sammenholde en kridtstreg midt på dækelementet med en kridtstreg, der er afsat på den allerede monterede del af konstruktionen.

Med de på figuren anvendte betegnelser for basismål vil vederlagsdybdens basismål B_S være:

$$B_S = \frac{1}{2} B_d - (B_2 - B_1 - \frac{1}{2} B_1) = \frac{1}{2} B_d + B_1 + \frac{1}{2} B_1 - B_2$$

Der regnes med følgende værdier:

$B_i = 150 \text{ mm}$ d.v.s. 15 cm vægelement
 $B_d = 3580 \text{ mm}$ d.v.s. et 36M dækelement
 $B_2 - B_1 = 1800 \text{ mm}$
 hvoraf
 $B_S = 1790 - 1800 + 75 = 65 \text{ mm}$
 Hvis knasterne ikke må passere vægelementmidten skal der gælde:
 $x_S \leq 75 \text{ mm}$
 Desuden er det statiske krav til knasterne, at hele knastlængden (55 mm) skal være understøttet, d.v.s.
 $x_S \geq 55 \text{ mm}$

Vi kan omskrive disse krav til en toleranceangivelse for sammenbygningen.
 $T_S = x_{S,max} - x_{S,min} = 20 \text{ mm}$

Ved at bruge det additive princip kan vi nu undersøge, hvor store målafvigelse vi kan risikere at få, når der forudsættes følgende værdier for deltolerancevidderne:

$T_d = 24 \text{ mm}$ Dækelementets længdetilvirkningstolerance
 $T_1 = 10 \text{ mm}$ Placeringstolerance, som består af bidrag fra en målafsetning og en montering
 $T_2 = 10 \text{ mm}$ do.
 $T_t = 10 \text{ mm}$ Vægelementets tykkelsestilvirkningstolerance

Det additive princip giver:

$$A_S = \frac{1}{2} \cdot 24 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 10 + 10 = 37 \text{ mm}$$

Vi ser, at $A_S > T_S$, og det betyder, at vi ikke kan være sikre på at få opfyldt vores tolerancekrav.

I et forsøg på at bringe sammenbygningens målafvigelse indenfor det acceptable interval, kan vi foreskrive skærpede tilvirkningstolerancer, dvs.

$$T_d = 10 \text{ mm} \text{ og } T_t = 6 \text{ mm}$$

hvoraf

$$A_S = \frac{1}{2} \cdot 10 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 6 + 10 = 28 \text{ mm},$$

hvilket imidlertid heller ikke er tilstrækkeligt.

Det næste skridt bliver så at skærpe placeringstolerancen, at ændre montererækkefølgen eller at vurdere sammenbygningens målafvigelser under hensyntagen til delmålenes statistiske variation.

Fremgangsmåden ved brug af det additive princip til vurdering af en tolerance-/afvigelsesvidde ved en sammenbygning er først at opstille linearkombinationen

$$B_S = \sum_{i=1}^n k_i B_i$$

Herved får man fastlagt faktorerne k_i . Afhængig af hvor mange af delmålenes tolerancevidder T_i kan man så beregne

$$A_S = \sum_{i=1}^n |k_i| T_i$$

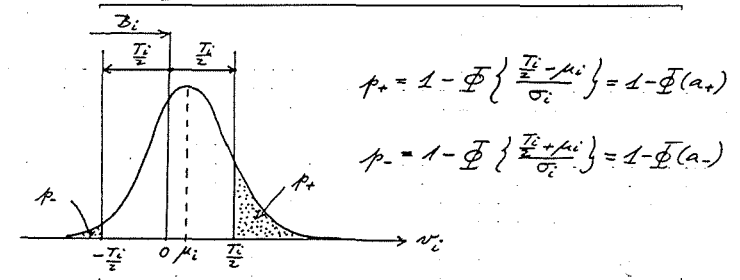
5.4 Statistisk model

I afsnit 4.3 blev det omtalt, at tilvirkningsmåls målafvigelser i en produktionsserie ofte vil vise sig at være normalfordelt.

Hvis μ_i og σ_i betegner middelværdi og spredning for målafvigelsen på det i 'te element i en sammenbygning, kan afstandene fra middelværdien til tolerancegrænserne i henhold til (4.3-2) skrives:

$$\frac{T_i}{2} - \mu_i = a_+ \sigma_i \tag{5.4-1}$$

$$\frac{T_i}{2} + \mu_i = a_- \sigma_i$$



For at gøre den statistiske behandling overkommelig indføres størrelsen β_i som er den mindste værdi af a_+ og

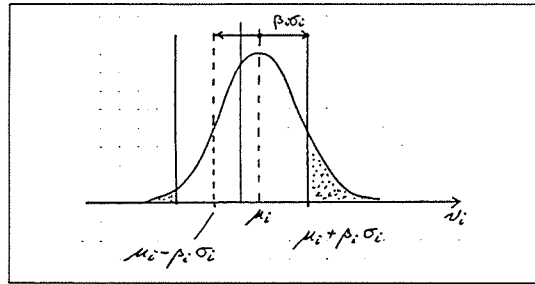
α_i , og denne kan så skrives:

$$\beta_i = \frac{\frac{T_i}{2} - |\mu_i|}{\sigma_i} \quad (5.4-2)$$

Der gælder så

$$T_i = 2 (|\mu_i| + \beta_i \sigma_i) \quad (5.4-3)$$

$\beta_i \sigma_i$ er udtryk for den korteste afstand fra målafvigelsens middelværdi til nærmeste tolerancegrænse.



Sammenbygning antages normalfordelt

Antager vi nu, at de enkelte elementer i en sammenbygning er normalfordelte, da vil der i henhold til additioenssætningen for normalfordelinger gælde:

$$\mu_S = \sum_{i=1}^n k_i \mu_i \quad (5.4-4)$$

$$\sigma_S^2 = \sum_{i=1}^n k_i^2 \sigma_i^2 \quad (5.4-5)$$

Løses (5.4-2) med hensyn til σ_i , og indsættes i (5.4-5) fås:

$$\sigma_S^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_i}{\beta_i} \right)^2 \left(\frac{T_i}{2} - |\mu_i| \right)^2 \quad (5.4-6)$$

Da sammenbygningens målafvigelse også vil være normalfordelt, kan et til (5.4-3) analogt udtryk for sammenbygningens afvigelsesvidde A_S opstilles:

$$A_S - 2 |\mu_S| = 2 \beta_S \sigma_S \quad (5.4-7)$$

Dette udtrykker sammenhængen mellem et målafvigelsesområde udtrykt ved A_S og sandsynligheden for at

overskride dets grænser udtrykt ved β_S .

Dette udtryk kvadreres og (5.4-4) og (5.4-6) indsættes, hvoraf:

$$(A_S - 2 |\sum k_i \mu_i|)^2 = \sum k_i^2 \left(\frac{\beta_S}{\beta_i} \right)^2 (T_i - 2 |\mu_i|)^2 \quad (5.4-8)$$

Af dette udtryk kan A_S beregnes svarende til en angiven β_S -værdi, hvis de enkelte elementers tolerancer og målafvigelsesfordelinger er kendt.

Oftentimes kender man ikke den absolutte værdi af målafvigelsens middelværdi, men skønner dennes numeriske værdi.

Da der gælder: $|\mu_S| = |\sum k_i \mu_i| \leq \sum |k_i| |\mu_i|$

kan vi indsætte dette i venstresiden af (5.4-8) og får

$$(A_S - 2 \sum |k_i| |\mu_i|)^2 \leq \sum k_i^2 \left(\frac{\beta_S}{\beta_i} \right)^2 (T_i - 2 |\mu_i|)^2 \quad (5.4-9)$$

Eksempel 5.4-1:

Vi skal nu undersøge sammenbygningen i eksempel 5.3-1 ud fra den statistiske model og forudsætter følgende værdier:

$T_d = 10 \text{ mm}$	$ \mu_d = 2 \text{ mm}$
$T_1 = 10 \text{ mm}$	$ \mu_1 = 1 \text{ mm}$
$T_2 = 10 \text{ mm}$	$ \mu_2 = 1 \text{ mm}$
$T_t = 6 \text{ mm}$	$ \mu_t = 2 \text{ mm}$

Desuden forudsættes i første omgang, at der arbejdes med samme nøjagtighedskrav for såvel sammenbygningstolerance som for de enkelte deltolerancer, d.v.s.

$$\frac{\beta_S}{\beta_i} = 1$$

Indsat i (5.4-9) fås så

$$\begin{aligned} & [A_S - 2(\frac{1}{2} \cdot 2 + 1 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 2 + 1 \cdot 1)]^2 \\ & \leq (\frac{1}{2})^2 \cdot (10 - 2 \cdot 2)^2 + 1^2 \cdot (10 - 2 \cdot 1)^2 \\ & + (\frac{1}{2})^2 \cdot (6 - 2 \cdot 2)^2 + 1^2 \cdot (10 - 2 \cdot 1)^2 \end{aligned}$$

$$[A_S - 8]^2 \leq 137$$

$$A_S \leq 11,7 + 8 = 19,7 \text{ mm}$$

Da denne er mindre end de acceptable 20 mm, ses at, er der f.eks. 90% sandsynlighed for, at de enkelte elementer overholder deres tolerancekrav, da vil der være samme sandsynlighed for, at sammenbygningens målafvigelse overholder sit tolerancekrav.

Optimistisk skøn på μ_i

Havde vi lidt optimistisk forudsat

$$\mu_i = 0$$

bliver (5.4-9):

$$A_S^2 = \sum k_i^2 T_i^2 = (\frac{1}{2} \cdot 10)^2 + 10^2 + (\frac{1}{2} \cdot 6)^2 + 10^2 = 234$$

Pessimistisk skøn på μ_i

Til gengæld giver det additive princip $A_S = 28 \text{ mm}$, hvilket svarer til en pessimistisk antagelse om μ_i nemlig at

$$|\mu_i| = \frac{T_i}{2}$$

Den metode, der anbefales anvendt i dansk standard DS 1050 baserer sig på det optimistiske skøn, dvs. at man beregner sin afvigelsesvidde ved en sammenbygning af udtrykket:

$$A_S^2 \leq \sum_{i=1}^n k_i^2 T_i^2 \quad (5.4-10)$$

I det additive princip havde vi (5.3-3):

$$A_S = \sum_{i=1}^n |k_i| T_i$$

Hvor det additive princip betragter den uheldigste kombination, tager DS 1050 altså hensyn til den statistiske variation, hvor der må regnes med en lille sandsynlighed for at tolerancegrænserne overskrides.

6. REFERENCER

- [1] "TOLERANCER I BYGGERIET"
DS-Hæfte 30.2, 1973, indeholdende
DS/R 1050 Anvendelse af måltolerancer
(2. udgave)
DS/R 1100 Præferencetal for tolerancer
DS 1050 Tolerancer i byggeriet
Anvendelse af måltolerancer
(1. udgave 1982)
DS 1124 Tolerancer i byggeriet
Terminologi
(1. udgave i 1983)
DS 1100 Tolerancer i byggeriet
Præferencetal for tolerancer
(1. udgave 1983)
- [2] "TOLERANCER FOR BETONELEMENTERS
HOVEDMÅL"
Revideret udgave 1975
Udgivet af Dansk Betonforening og
Betonelementforeningen
- [3] "MÅLAFVIGELSER VED INDUSTRIEL PRODUKTION AF BE-
TONELEMENTER, HERUNDER TOLERANCEFASTSÆTTELSE
OG KONTROL".
Per Dragsholt
Indlæg ved Nordisk Betonkongres,
Bodø, Norge, Juni 1973.
- [4] "BYGGERIETS NØJAGTIGHED"
Publikation nr. 6 fra DIF's arbejds-
udvalg nr. 4 om Montagebyggeri
Teknisk Forlag 1956.
- [5] "BETONELEMENTER - MÅLAFVIGELSER"
F. Brink Laursen
Byggeindustrien 1970, p. 132-134

Supplerende litteratur:

- "KONTROL AF TOLERANCERS OVERHOL-
DELSE"
Ove Ditlevsen
Byggeindustrien 1972, p. 254-262
- "TOLERANCER FOR SAMMENBYGNINGER"
Ove Ditlevsen
Byggeindustrien 1972, p. 294-300 + 326