

K97.

DANSK INGENIØRFORENING · BYGGERATIONALISERINGSUDVALGET

MONTAGEBYGGERI

PUBLIKATION NR. **3**

MONTAGEBYGGERI
3

MODULORDNINGEN

Modular Coordination in Denmark

ARBEJDSUDVALG 4 KØBENHAVN 1956

I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG

LABORATORIET FOR BYGNINGSTEKNIK

MODULORDNINGEN

I henhold til lov nr. 209 af 7. juni 1952 har boligministeriet af midlerne til teknisk-videnskabelig forsknings- og forsøgsvirksomhed stillet 194.000 kr. til rådighed for Dansk Ingeniørforening til brug for et udvalg vedrørende BYGGERIETS RATIONALISERING, især MONTAGEBYGGERI.

Denne publikation er en del af udvalgets arbejde i årene 1954-57.

Arbejdet har været fordelt på nedenstående udvalg:

Hovedudvalg

- Arbejdsudvalg 1. Montagebyggeriets nuværende stadi.
- Arbejdsudvalg 2. Facadeelementers rationelle opbygning og virkemåde.
- Arbejdsudvalg 3. Statiske problemer i montagebyggeri.
- Arbejdsudvalg 4. Fuger, tolerancer og installationer.

Udvalgsmedlemmer:

Medlem af udvalg:

Civilingeniør POVL R. ANDERSEN, formand for udvalg 4	Hovedudvalg, 2, 4
arkitekt PH. ARCTANDER, M.A.A.	Hovedudvalg, 1
underdirektør, civilingeniør J. CHRISTOFFERSEN	3
civilingeniør P. M. FREDERIKSEN	4
direktør, civilingeniør JOH. HARTMANN	1
arkitekt EDV. HEIBERG, M.A.A.	4
civilingeniør W. JØNSSON	3
civilingeniør JOHS. JØRGENSEN	1
civilingeniør C. C. KIRCHHEINER	2
professor P. KJÆRGAARD, M.A.A.	4
civilingeniør V. KORSGAARD	2
arkitekt ESKE KRISTENSEN, M.A.A.	Hovedudvalg, 1, 2
civilingeniør A. K. KROG	2
civilingeniør P. E. MALMSTRØM, formand for hovedudvalget	Hovedudvalg
civilingeniør, dr. phil. P. W. MARKE	2
civilingeniør E. PHAFF MØRCK	4
civilingeniør EW. OLSEN	4
civilingeniør E. C. PEDERSEN	Hovedudvalg, 1
professor, dr. techn. B. J. RAMBØLL, formand for udvalg 3	Hovedudvalg, 3, 4
civilingeniør B. HØJLUND RASMUSSEN	Hovedudvalg, 3
civilingeniør SØREN RASMUSSEN	Hovedudvalg, 3
civilingeniør W. R. SIMONSEN, formand for udvalg 1	Hovedudvalg, 1
civilingeniør H. C. E. TEISEN	4
ingeniør J. THORSEN, M. af I.	4
civilingeniør V. USSING, formand for udvalg 2	Hovedudvalg, 2, 3
arkitekt M. VOLTELEN, M.A.A.	4
civilingeniør J. N. M. WÆRUM	1
civilingeniør JOHS. F. MUNCH-PETERSEN, sekretær for	Hovedudvalg, 1, 2, 4

I udvalgenes arbejde har endvidere deltaget civilingeniørerne M. EGESKJOLD (2), JØRN LUND (2), H. O. SONNE ANDERSEN (3), K. NOMMESEN (3), FL. MØLLER (4) samt nogle polyteknikere ved løsning af specielle opgaver.

Modulordningen

DK 389.63
60.002.2
721.013

Indførelsen af en modulordning i byggeriet er ikke et mål i sig selv. Modulordningen er et hjælpemiddel, der skal muliggøre en koordinering af de anstrengelser, der fra vidt forskellige side gøres for at standardisere og sammenpasse mange forskellige bygningsdele. Modulordningen er ikke i første række en hjælp til de projekterende. Den tager først og fremmest sigte på produktionens behov på langt sigt. Den er helt enkelt en standardisering af standardiseringen.

Standardiseringen af bygningsdelene er en forudsætning for byggeriets industrialisering, og industrialiseringen er i et moderne samfund det vigtigste middel til billiggørelse og forbedring af et produkt.

Indførelsen af en modulordning bliver da et skridt af overmåde stor vigtighed, men det er klart, at en modulordning ikke er noget, man kan vedtage den ene dag og anvende overalt den næste. Dens indførelse rejser en række problemer, som alle, der er impliceret i byggeri, må være med til at løse gennem indhøstning af erfaringer i de kommende år. En forudsætning for dens succes er opfyldelsen af en række krav, som det vil være nyttigt at overveje.

Det har ingen mening at tale om et byggeris indpasning i et modulsystem, med mindre man

samtidig gør opmærksom på, med hvilken nøjagtighed det skal ske. Det er velkendt, at der ofte forekommer afsætningsfejl af størrelsesordenen 5 cm i byggeriet. Det er indlysende, at fejl, der er halvdelen af det enhedsmaal, man vil arbejde med, gør planlægningen illusorisk. Lad os da i det følgende på grundlag af modulforslaget gennemgå principperne for indpasning af de enkelte bygningsdele i et modulsystem og specielt belyse mulighederne for opfyldelse af nøjagtighedskravet ud fra erfaringer, der er indhøstet ved de senere års byggeri.

Modul.

Det er klart, at det ikke vil være af større betydning at standardisere en række forskellige bygningselementer (i betydningen bygningsdele fra mursten til køkkenskabsenheder), uden at man sikrer sig, at alle disse elementer passer sammen i den færdige bygning. Der er derfor foreslået indført en fælles målenhed, en modul, der er valgt så stor, at mængden af mulige standardmaal reduceres til et rimeligt antal, og dog så lille, at den fornødne smidighed i udformningen kan opnås. De fleste europæiske lande og U.S.A. har indført en 10 cm eller 4" modul; det er derfor naturligt, at vi også her i landet har valgt en grundmodul = 1 dm

Bygningen projekteres og opføres da over et rumligt net af modullinier: modulnettet med rette vinkler og maskevidde 1 dm, og alle byggelementer (evt. murstensrækkers samlede længde) har mål, der nominelt er hele dm.

For yderligere at forenkle målene på større bygningsdele – først og fremmest råbygningen – har man foreslået, at man i boligbyggeriet planlægger råbygningen over et net med større masker og standardiserer murmaal, vægafstande og betonelementer (f. eks. facadeelementer og etageadskillelser) over den samme større enhed:

planlægningsmodulen = 3 dm.

I murværk er der en naturlig 6 cm enhed, og det mindste mål, der både er et modulmaal og et murværksmaal er netop den valgte 30 cm planlægningsmodul.

Dette gælder dog kun de vandrette mål. De lodrette mål opbygges for råbygningens vedkommende over planlægningsmodulen 2 dm = 20 cm = 3 skifter.

Samlinger – måleprincip.

Elementer fremstilles altid med en vis unøjagtighed, d. v. s. at der på de enkelte dele er små tilfældige fejl, *målafvigelses*, der bør være begrænset ved fastsatte tolerancer, d. v. s. *tilladte målafvigelses*.

Samlingerne indfører et nyt usikkerhedsmoment, der giver anledning til *monteringsunøjagtighed* ved elementets placering.

Selve samlingen udføres ofte ved fugning, lister el. lign., således at der mellem elementerne må sikres et vist mellemrum.

Elementets mål må af disse tre grunde, målafvigelse på elementet, monteringsunøjagtighed og fuge, principielt fremstilles mindre end modulmålet, d. v. s. mindre end afstanden mellem de modullinier, der begrænser elementet (bortset fra specielle tilfælde, f. eks. fjer og not samlinger).

Der opstår nu et pasningsproblem ved samlingerne (fugerne).

I maskinindustrien, hvor pasningsproblemet opstod og blev løst for mange år siden, benyttes *hulbasis-systemet*, der bygger på den antagelse, at alle dele enten er indbygningsdele eller omslutende dele (aksler monteres i et hul o. s. v.). Dette system er dårligt egnet i byggeriet, hvor elementerne oftest er sideordnede: Mursten lægges ved siden af mursten, element stilles ved siden af element. I byggeriet er indbygningsdele sjældne, og det almindelige pasningssystem må opbygges ud fra tilfældet sammenbygning af to ens eller i hvert fald ligestillede dele. Den naturlige løsning i dette tilfælde er den i modulforlaget angivne:

Fugefordeling om modullinien.

Når nogle lande foreslår hulbassystem, må dette ses som udtryk for, at man i disse lande ikke ønsker at bryde med det traditionelle maskinindustri-system, antageligt fordi den overvejende del af de præfabrikerede elementer indgår som supplement til et iøvrigt traditionelt udført byggeri: Vinduer og facadeelement-

ter kan indbygges i murværk/støbte vægge ud fra hulbasis-systemet.

Fig. 1 illustrerer de uheldige konsekvenser, når hulbasis-systemet benyttes på sædvanlig måde som grundlag for standardisering af f. eks. et facadeelement: Det samme element kan ikke anvendes i montagebyggeriet.

Fig. 2 viser anvendelsen af princippet fugefordeling om modullinierne, når man går ud fra et industrialiseret montagebyggeri. Standardelementet kan også

anvendes i det traditionelle byggeri, blot de støbte vægge (eller murværket) afbrydes $\frac{1}{2}$ fuge fra modullinien.

Fig. 3 viser tolerancernes betydning. Elementets størrelse benævnes ved det tilhørende modulmål, afstanden mellem de begrænsende modullinier. Elementets tilstræbte mål er *tilvirkningsmålet*, der principielt er mindre end modulmålet. Da elementerne skal holde sig inden for deres eget modulområde, bestemmes tilvirkningsmålet ud fra modulmål-

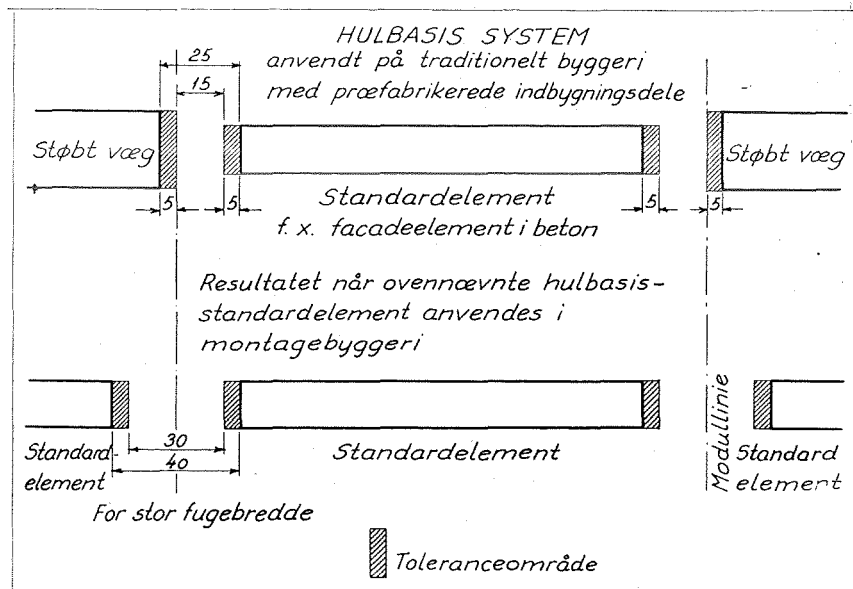


Fig. 1

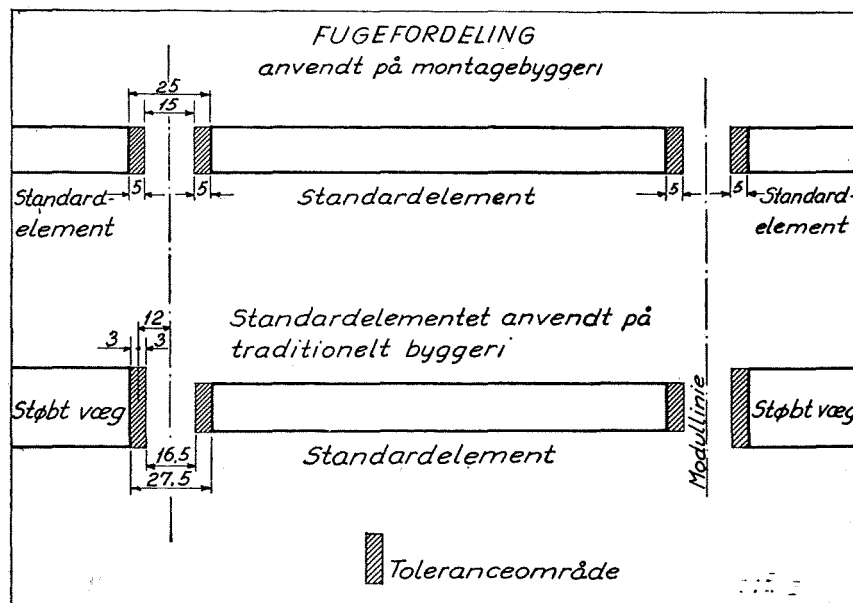


Fig. 2

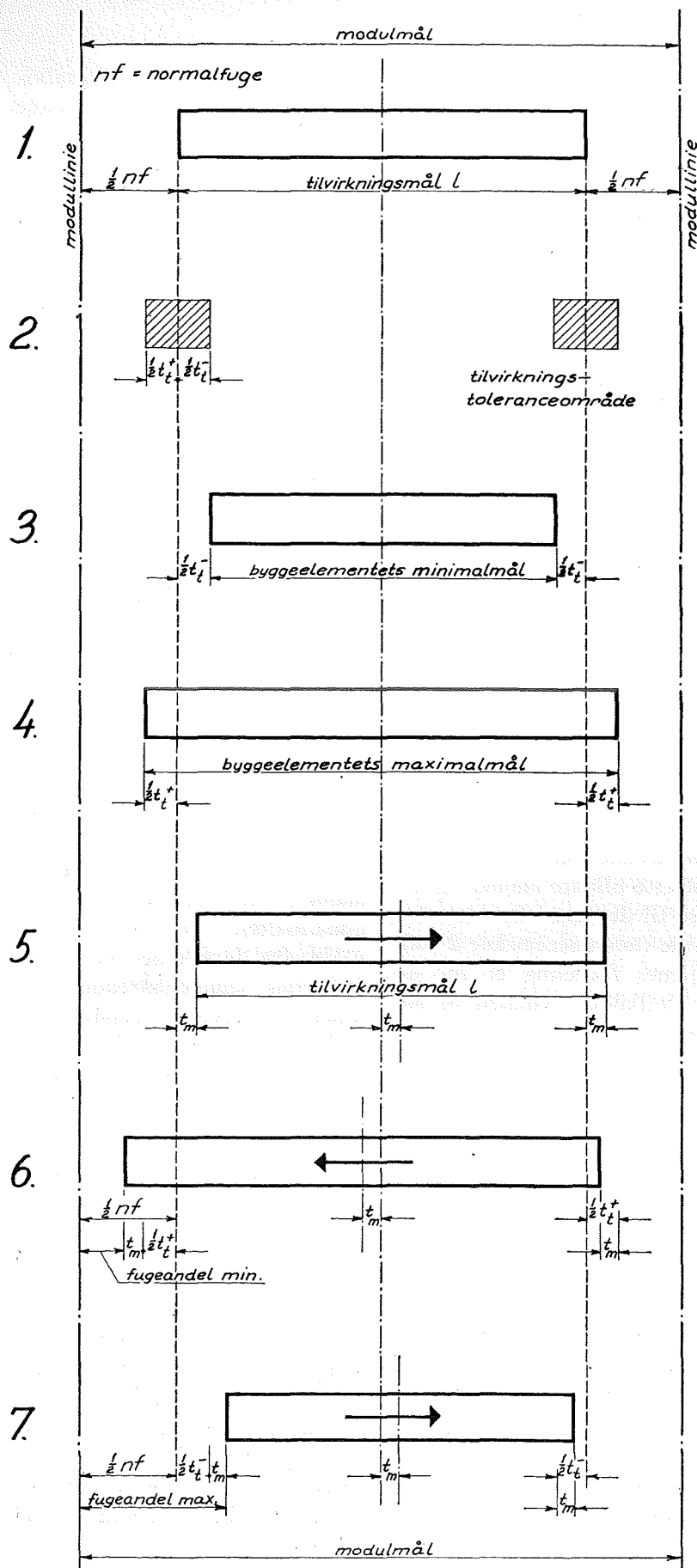


Fig. 3.

Det ti'stræbte tilfælde

som det angives på tegningerne. I praksis forekommer afvigelser af de nedenfor viste grunde.

Tilvirkningstolerancen, $T_t = t_t^+ + t_t^-$ vedrører fabrikationen. Elementerne er tegnet korrekt monterede (d.v.s. elementmidlinie midt mellem de to begrænsende modullinier).

Monteringsafvigelsens betydning:

største tilladte afvigelse mellem elementmidlinie og modulfagets midlinie er t_m .

Her vist på et element uden målafvigelser. Fugen afviger kun på grund af monteringsunøjagtighed.

Fugeandel minimum.

$$= \frac{1}{2} nf - t_m - \frac{1}{2} t_t^+ \quad (\text{største element i ugunstigste stilling}).$$

Fugeandel maximum

$$= \frac{1}{2} nf + t_m + \frac{1}{2} t_t^- \quad (\text{mindste element i ugunstigste stilling}).$$

Extremerne i 6. og 7. fås som resultat af samvirkende tilvirknings- og monteringsafvigelser. Hvert toleranceområdes bredde: $\frac{1}{2} t_t^+ + \frac{1}{2} t_t^- + t_m$

let under hensyn til fuger og tolerancer.

Tolerancerne opdeles i *tilvirkningstolerancer*, der vedrører fabrikationen af elementet – tilvirkningsmålet, og *monterings-tolerancer*, der vedrører elementets eventuelle fejlplacering i modulområdet.

Alle elementer med mål mellem de fastsatte grænser, maksimalmålet og minimalmålet, godkendes og er for så vidt anvendelige, men i de tilfælde, hvor elementerne samles med et fugemateriale, vil det i praksis være ønskeligt, om elementerne fortrinsvis ligger i midten af toleranceområdet med mål svarende til den teknisk bedste fugebredde.

Internationalt definerer man tilvirkningstolerancen = $T_t = \text{maksimalmålet} \div \text{minimalmålet}$, og arbejder kun med disse grænser på tegninger og kontrol med tolerancegaffler. En voksende del af byggelementerne produceres på ren industriel basis, og det internationale princip vil antageligt derfor gradvis vinde frem. Den her valgte fremstilling bygger på, at det for mange elementer, f. eks. betonelementer er mere praktisk at arbejde med et tilstræbt mål, tilvirkningsmålet, hvorudfra lige store afvigelser til begge sider tillades. Derved er målsætningen på tegninger entydig: Den normale fuge og tilvirkningsmålet er faste tal, der angives på elementtegninger og samlingsdetaller. Ud fra tilvirkningsmålet defineres de største tilladte positive hhv. negative tilvirkningsafvigelser t_t^+ og t_t^- ($t_t^+ + t_t^- = T_t$), hvor t_t^+ og t_t^- i reglen er lige store. Ved denne metode opnår man endvidere, at kun eet mål angives på tegningen, mens tolerancerne kan opgives i beskrivelsen alene.

De enkelte arbejdere ved form-

fabrikation, formsamling, støbning, afformning, lagring og kontrol, processer, der indeholder uafhængige fejlkilder, bør nemlig enten blot have ordre til arbejde „nøjagtigst muligt“ eller bedre have opgivet „uafhængige“ deltolerancer, mens den resulterende fejl, summen af alle fejlkilder, bør bedømmes af den overordnede instans.

Eksempel: Et element til et 2400 mm modulfag har f. eks. maksimalmålet 2390 mm og minimalmålet 2380 mm. Internationalt vil man angive elementets mål som 2380/2390 mm eller som $2400 \begin{matrix} -10 \\ -20 \end{matrix}$ mm. Efter den her beskrevne metode, der i dag er almindelig i montagebyggeriet er elementets tilvirkningsmål på tegningen 2385 mm og tolerancen i beskrivelsen ± 5 mm. Elementets kontrolmål er 2385

$$\pm 5 = \begin{cases} 2380 \\ 2390 \end{cases} \text{ mm.}$$

Tilsvarende defineres t_m som den største tilladte monteringsafvigelse til den ene eller den anden side (toleranceområde 2 t_m).

Fejlens fordeling er for de fleste fejlkilder symmetrisk om middeltallet af samtlige mål. Dette understreger det logiske i at opgive tilvirkningsmålet midt i toleranceområdet med angivelse af to deltolerancer t_t^+ og t_t^- til begge sider.

Fig. 3,1 viser et element med mål = tilvirkningsmålet (målafrvigelse 0), korrekt monteret (monteringsafvigelse 0).

Dette er det tilstræbte tilfælde, hvor man ved sammenbygning af ens elementer får fuger af bredden = „normalfugen“ (nf). Af symmetri Grunde er afstanden modullinie/elementende i begge sider $\frac{1}{2}$ nf.

Fig. 3,3 og 3,4 viser tilvirkningstolerancerens indflydelse på fugebredden for korrekt monte-

rede elementer (monteringsafvigelse 0). Elementets virkelige mål, skal ligge mellem maksimalmålet og minimalmålet, d.v.s. at målafrvigelserne er mindre end tilvirkningstolerancerne, t_t^+ og t_t^- .

Fig. 3,5 viser den tilladte monteringsafvigelses, t_m , indflydelse, vist på et „fejlfrit“ element (målafrvigelse 0).

Fig. 3,6 og 3,7 viser den mindste (største) fugeandel som resultatet af samvirkende uheldige omstændigheder: Målafrvigelserne er størst (mindst) og monteringsafvigelsen går i den uheldigste retning. I praksis er det ikke altid nødvendigt at medregne både tilvirkningstolerancen og monterings-tolerancen med den fulde værdi ved fastsættelse af de maksimale (minimale) fugeandele. Man vil ofte udjævne fugebredden lidt ved at forskyde elementet således, at de to fuger bliver nogenlunde lige store (d. v. s. at man nedsætter t_m , når elementmålet er nær maximal- eller minimalmålet).

Ud fra formlerne på fig. 3 fastsættes sammenhørende tolerancer og tilvirkningsmål.

Man går da ud fra det almindelige tilfælde: Sammenbygning af ens elementer, d. v. s. at *hver elementtype målsættes og tolerancebegrænses alene ud fra egne hensyn*.

Men der gives undtagelser: Vinduer sammenbygges normalt med murværk, støbte vægge eller elementer, og dette er da normalt tilfældet, der bestemmer vinduesmålene, når naboelementernes mål og tolerancer er fastsat. Vinduesmålet skal fastsættes entydigt, og det kan da tænkes, overvejelserne i forbindelse med vinduesmålene kan virke tilbage på råbygningen.

Problemerne kan altså ikke fuldstændigt isoleres til hver ele-

menttype for sig: En standardiseringskomité må samle overvejelserne.

Det afgørende hensyn ved fastsættelsen af mål og tolerancer er, at fugen aldrig må blive hverken for stor eller for lille ved den valgte samlingsmetode.

Hvis fastsættelsen nu sker alene ud fra hensynet til elementets sammenbygning med elementer af samme slags, rejser sig det spørgsmål, om dette ikke ved sammenbygning mellem to forskellige slags elementer f. eks. et nøjagtigt element med lille tolerance og et groft element med stor tolerance, vil resultere i, at fugen bliver for lille.

I almindelighed gælder – for to ens elementer – at ujævne flader (med store tolerancer) kræver en bred fuge, og nøjagtige flader (f. eks. limet gasbeton) en lille fuge ≈ 0 . Men i specialtilfældet sammenbygning af to forskellige slags elementer vil specialløsningen på fugeproblemet alligevel været praktisk let gennemførligt, da man i almindelighed vil finde, at den ønskelige fugebredde netop er en værdi mellem det grove elements og det fine elements fugebredde, således at den ønskelige fugebredde kan sættes lig summen af det grove elements store fugeandel og det fine elements lille fugeandel.

Som vejledning ved tolerance- og fugeovervejelserne kan angiges, at tilvirkningstolerancen ved betonelementer ofte er af størrelsesordenen $\frac{1}{4}$ af den normale fuges bredde.

Nøjagtighed bliver da et afgørende punkt ved indførelsen af en modulordning. Nøjagtighed koster i almindelighed penge, og jo mindre tolerancer man sætter, des dyrere bliver fabrikationen af et byggelement. Men montagen let-

tes og bliver billigere. Unøjagtige elementer kan muligvis i nogle tilfælde fremstilles billigere, men montagen bliver besværlig, måske umulig uden ekstra tilpasning, og dyrere.

Tolerancerne må derfor fastsættes ud fra økonomiske hensyn til fabrikation og montage af elementet og sidst, men ikke mindst, ud fra hensynet til lettelser og besparelser i de efterfølgende fags arbejde, der kan planlægges bedre og udføres rutinemæssigt på værkstedet eller på fabrik uden måltagning på montagestedet.

F. eks. er snedker- og rørarbejde naturligt nøjagtigt, men i dag hæmmet af, at man ofte må tage alle mål på stedet. Målene bør tages fra tegningen, med sikkerhed for, at disse er overholdt.

Råbygningen, der udgør den økonomisk tungtvejende del, er afgørende for byggeriets nøjagtighed. I montagebyggeriet arbejdes bevidst på at nedsætte målafvigelse ved at opgive tolerancer, og Dansk Ingeniørforenings rationaliseringsudvalg har ladet udføre en række kontrolmålinger på udførte bygninger og elementer. En rapport ventes udsendt i efteråret 1956.

Målinger af betonelementer har vist, at man sagtens kan overholde tolerancerne ± 5 mm. Dette stiller krav til formene, men nøjagtigheden er ikke her en økonomisk belastning af større betydning, da forme, der skal anvendes mange gange, i forvejen er udført så stabile, at de er målfaste. Elementets ydre mål, længder og bredder bestemmes af formens mål og samlingens stabilitet.

Formens mål må derfor overholdes nøje, således at elementernes gennemsnitlige mål er lig det forlangte. Dette er nemt at opnå ved betonforme, hvis mål er bestemt af den oprindelige matrice,

der oftest er udført i gips. I stål må man konstatere, at det i reglen er umuligt at forlange f. eks. en pladebukning udført på mm. Nøjagtige stålforme kræver derfor samling, f. eks. ved svejsning af høvlede profiler, og benyttelse af mindst 3 mm plade. Træforme kan sjældent opfylde nøjagtighedskravene ved gentagne støbninger, da træet arbejder for meget.

Men selv om formene er nøjagtige, er det dog muligt, at elementmålene viser stor spredning (har for store fejl) ud fra middeltallet, hvis samlingerne ikke er stabile. Skruetvinger og kiler må anvendes med forsigtighed, da de arbejder under vibreringen. Samlingerne må udføres med bolte eller lignende, og sideformen må være robust.

Målinger af råbygningen viser, at det er muligt at overholde tolerancen ± 10 mm på etagehøjder og vægafstande, og at der antageligt er muligheder for at nå længere ned ved anvendelse af bedre afsætningsmetoder.

Der er kontrolmålt oplægning af en række etageadskillelselementer. Disse var så nøjagtigt oplagt, at det næppe er muligt at udskille montageunøjagtigheden. Fejlene stammede antagelig fra selve elementet. Målingen udførtes på ribbeplader, der ved fabrikationen fik en middelfejl på ribbeafstanden på ca. 1 mm for hver type for sig, ca. 2 mm for alle typer under eet. Men det færdige ribbeloft havde en middelfejl på ribbeafstanden på ca. 1,5 mm for plader af nogenlunde samme type.

Murværk rejser en række særlige spørgsmål.

Murværk har ry for at være mindre nøjagtigt, men grunden hertil skal formentlig for en væsentlig del søges hos de projekterende, der gennem årene har ud-

viklet den praksis, at alle mål tages på stedet.

Der har hidtil sjældent været brug for, at råbygningen var nøjagtig af hensyn til efterfølgende fag, ligesom det ikke med de traditionelle afsætningsmetoder har været til fordel for selve opmuringen at overholde nøjagtige mål. Visse steder er det nødvendigt, og der viser det sig, at det praktisk let lader sig udføre at mure med små tolerancer.

Forbedringerne må begynde med tegninger, der indeholder målrækker til murværket alene. Målene må angives på entydig måde, d.v.s. at der må standardiseres en målsætningsregel (enten til den nøgne mur eller sådan, at der altid medregnes en halv fugebredde. I dag bruges begge regler, eller endog kun mål til pudset mur).

Når der opstilles tolerancer med et fornuftigt formål, overholdes disse. Det oplyses f. eks. fra en fabrikant af færdigstøbte trappeløb og -reposer, at disse kan oplægges på udsparede murriller, når der opgives minimumstrapperummål og der regnes med 2 cm fuge langs væggene.

For på stedet støbte reposer har man krævet overholdt tolerancer ± 2 cm på etagehøjden og $\pm \frac{1}{2}$ cm på vandrette mål – heller ikke dette har givet vanskeligheder ved udførelsen.

Der er således ikke praktiske hindringer for at arbejde med en vis nøjagtighed med vor nuværende teknik, og det er et spørgsmål, om man ikke let vil kunne nå længere.

Interessen må vækkes, ikke blot for ved nøjagtighed at opnå lettelser for selve opmuringen, men også for derved at skabe de efterfølgende fag muligheder for at rationalisere: „Alle mål tages på stedet” må ændres til: „Ingen mål tages på stedet”, men

tegningerne skal da indeholde rene murmålrækker, der omfatter de nødvendige mål og angiver disses tolerancer. Samtidig må troen på, at rimelige tolerancer kan overholdes, styrkes.

Som i montagebyggeriet må brugen af tommestok og waterpas indskrænkes til afsætning af korte mål. De almindelige afsætninger må foregå med stålbånd, nivellerinstrument, teodolit og båndmål. Gentagelsesmomentet i det meste boligbyggeri opfordrer til benyttelse af målelægter og åbningsledere.

Erfaringerne fra f. eks. Tyskland, Holland og England viser, at en ændret teknik kan skabe både hurtigere og nøjagtigere murværk. Som et simpelt eksempel kan nævnes, at man i disse lande ofte anvender hjørnestolper med målemærker, evt. med faste øjer, til at rette den vandrette flugt ind, i stedet for hjørneopmuring. Disse systemer er videreudviklet til stålskeletter, der med vandrette ledere som fast anslag, f. eks. vinkeljern, sikrer en nøjagtig stenplacering uden måling.

Alt dette er dog afhængigt af, at elementerne, murstenene, er nøjagtige. Det er sket, at omhyggelige arkitekter har angivet hver enkelt stens placering til ingen nytte, fordi murstenene var ude af mål. Så store stenunøjagtigheder er undtagelsen, men atter kan årsagen til en vis grad søges i, at der sjældent har været rejst krav om tolerancernes overholdelse.

I reglen er stenedes mål så nær det nominelle, at 6 cm enheden i murværket og dermed det vandrette planlægningsmål på 30 cm i modulsystemet kan overholdes. At overholde det lodrette planlægningsmål på 20 cm = 3 skifter skulle ikke volde nævneværdige vanskeligheder. Mindre fejl på stenede kan udlignes ved at æn-

dre fugebredderne, men hvis stenedes mål nærmer sig eller endog overskrider de fastsatte maksimal- eller minimalmål, kan 6 cm enheden ikke mere fastholdes. Slækker man i sådanne tilfælde på det æstetiske krav, kan modulmålene overholdes på en ikke for kort stenrække, idet man ændrer stenantal og fugebredde i forhold til det teoretisk rigtige.

Det er dog givet, at en sådan kompromisløsning ikke er ønskelig, selv om den også idag må benyttes i adskillige tilfælde.

Den virkelige rationalisering kan kun opnås med nøjagtigere sten. Det synes opnåeligt at få en tilstrækkelig nøjagtig stenproduktion. Undersøger man en enkelt leverance, viser det sig nemlig oftest, at alle sten ikke blot holder sig inden for $+4/ - 8$ % grænsen, men at forskellen mellem de enkelte sten oftest er relativt lille: Produktionen i en brænding er samlet i et ganske bestemt mindre interval inden for det større toleranceområde, men hver brænding giver sit middeltal. En skærpet produktionskontrol skulle kunne klare problemet (i Sverige benyttes grænserne $+1,6/ - 3,1$ %). Desværre er en sådan kontrol ofte vanskelig at gennemføre, dels fordi sammenhængen mellem svindet og den kemiske sammensætning ikke er ganske opklaret, dels fordi der i mange lergrave er en sådan variation i lerets sammensætning, at en virkelig ensartet produktion kun kan opnås ved en homogenisering, der næppe kan gennemføres uden ret væsentlige fordyrelser.

Nettets placering.

Modulnettets tilknytning til bygningen forudsætter en regel for udgangspunktet ved nettets placering. Dette tilsyneladende så simple problem rummer en

række spørgsmål, der yderligere forstærkes i en overgangstid, hvor kun en begrænset del af elementerne er i modul. Problemerne kan opstilles i følgende oversigt, der nedenfor kommenteres.

Der er to løsninger

A) Modullinier i midte-væg (planlægningsmodullinier med 3 dm afstand).

B) Modullinier i kant af væg.

Disse to løsninger er opstillet ud fra de to til tider modstridende ønsker:

a) Råbygningen skal standardiseres med ret store spring – 30 cm, evt. 60 cm, således at antallet af mulige standard-spændvidder for etageadskillelses- eller facadeelementer reduceres.

b) Rummål skal være i modul – hele dm – af hensyn til de øvrige bygningsdele, der skal standardiseres i hele dm.

Det ville derfor have været en stor fordel, hvis man idag kunne forudse, hvorledes en bygning opbygges i fremtiden, således at man nøje kendte, hvilke dele der skulle standardiseres og disses pris. Derved ville den bedste løsning kunne udvælges ved en økonomisk betragtning.

Den økonomiske betydning af modullinier i kant af væg eller i midte væg kan dog ikke uden videre afgøres ud fra den normale prisfordeling, råhus 40 %, resten 60 %, da ikke alle dele i lige høj grad berøres af modulen.

Det kan nævnes, at af råbygningens dele vil f. eks. fundamentene næppe ændre pris på grund af modulens indførelse.

For de øvrige bygningsdele er 1 dm modulen selvstændigt afgørende for alle dele, der stilles op i rækker, f. eks. køkkenskabe eller lette vægge. Standardisering over modulen sikrer her sammenbygningsmulighederne, men selve

problemet rummål i modul er ofte mindre betydningsfuldt, da f. eks. en skabsrække tit afsluttes ved en dør, og da man anvender en afsluttende udligningsliste til optagelse af ophobede fejl.

Mange bygningsdele kan standardiseres uafhængigt af modulen, f. eks. mange installationsgenstande, og arbejdet, f. eks. med rør, har som rationaliseringsgrundlag en nøjagtig bygning. Her er den faste etagehøjde en grundpille. Det bør nævnes, at man har standardiseret *brutto*-højden, og at det derfor ville være ulogisk at standardisere rummålene – princippet midte-væg betyder, at man standardiserer rummål + vægtykkelse („bruttospændvidden”).

Det er umuligt idag at beregne de økonomiske virkninger på langt sigt af modulordningens indførelse med en sådan sikkerhed, at man i tal kan angive betydningen af nettets placering. Men det kan overses, hvad der i dag er fordelagtigst, ligesom man kan påvise, at begge ønsker kan forenes for mange rums vedkommende, når standardiseringen er drevet vidt, særligt når vægtykkelserne er i modul, 10, 20 eller 30 cm tykke.

Lad os som et tydeligt eksempel betragte et hus med bærende tværvægge af samme tykkelse, se

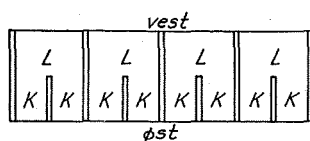


Fig. 4

fig. 4. Huset består i vestsiden af 4 ens rum, i østsiden af 8 ens rum.

Råbygningen indeholder bl. a. facade- og etageelementer, hvis standardmål er afhængige af

spændvidderne L og K. Vælger man at lægge planlægningsnettets 3 dm-masker midt i alle bærende vægge, er denne løsning mulig, og facade- og etageelementer kan standardiseres med 30 cm spring. For råbygningen er denne løsning ønskelig såvel på langt sigt som idag, idet den er uafhængig af vægtykkelserne.

Vælger man derimod at lægge modullinierne i kant af væg, viser det sig, at dette ikke er gennemførligt i alle rum idag, hvor vægtykkelserne ikke er i modulmål. Modulnettene i de enkelte rum korresponderer ikke, men hvad værre er: Man kan ikke engang lægge uafhængige modulnet i hvert rum for sig. Er den indvendige rumbredde f. eks. 600 cm og vægtykkelsen f. eks. 24 cm, kan man i bedste fald lade hvert andet rum K have modulmål, f. eks. 290 cm, de øvrige rum K bliver da ikke i modul, men 286 cm.

Systemet er altså kun gennemført i nogle rum, og råbygningen kan slet ikke standardiseres.

Selv om man i fremtidigt byggeri kunne opnå, at vægtykkelserne var i modul, f. eks. 20 cm, er dette dog ikke tilstrækkeligt til en effektiv standardisering for facade- og etageelementer. Disse måtte nemlig standardiseres med 10 cm spring, altså i 3 gange så mange standardmål som ved princippet midte-væg. F. eks. fås i ovennævnte eksempel for rum L: 600 cm + 2 vederlag, for rummene K: 290 cm + 2 vederlag.

Spørgsmålet er da, om de øvrige bygningsdele er så økonomisk tungtvejende, at man skal slå sig til tåls med et 3-doblet antal standardelementer til råhuset mod at få alle rum i modul. Dette synes ikke at være rimeligt. Idag kan man alligevel ikke gennemføre systemet, det er til skade for råhuset – og kun til

gavn for de øvrige bygningsdele i en del af rummene. Og på langt sigt kan ønskerne forenes i mange tilfælde, når vægtykkelserne er i modul og f. eks. alle 20 cm eller alle 10 cm. Er rummets vægge 20 cm tykke, kan princippet midte-væg i 3 dm-nettet kombineres med modullinier langs kant af væg, d. v. s. rummål i hele dm. Er begge vægge 10 cm tykke, opnås det samme, men 3 dm-planlægningsnettet, der forsåvidt blot udtrykker råbygningens standardiseringsregel, er forskudt 5 cm i forhold til rummenes 1 dm-net.

Naturligvis vil der også forekomme rum, hvor vægtykkelserne er forskellige f. eks. 10 og 20 cm, og følgelig rummål, der kun er delelige med 5 cm, således at man – inkonsekvent – ikke har modullinier langs alle vægelementer, men denne ulempe er næppe så væsentlig, når der iøvrigt er opnået et effektivt standardiseringsgrundlag for råhuset samtidig med at i hvert fald mange rum er i modulmål.

En variation af midte-væg princippet giver måske løsningen:

I visse tilfælde vil der være en fordel ved at forrykke planlægningsnettet $\frac{1}{2}$ modul for grundmodulnettet, idet en 20 cm tyk væg fordeles med 5 og 15 cm til hver side af planlægningsnettet, mens 10 cm vægge fordeles med 2×5 cm. Systemet er dog ikke gennemarbejdet.

Vægtykkelserne er, som det fremgår af ovenstående, et væsentligt spørgsmål.

Råbygningen består idag af bærende vægge af varierende tykkelse – varierende både i samme etage og op gennem etagerne.

Den nye landsbygge lov vil forhåbentlig give grundlaget for at udføre vægge med konstant tykkelse gennem etagerne ved at variere sten- og mørtelstyrken eller betonstyrken.

Et nyt murstensformat – en stor trekvart sten – der giver 2 dm vægge vil være af stor betydning – og samtidig synes der at være håb om, at den kan godkendes som tilstrækkeligt lyd-isolerende i lejlighedsskel.

I beton er det måske muligt udelukkende at benytte 20 cm vægge, hvis vægge med hulrum kan fremstilles billigt nok.

— — —

Alle ræsonnementer er opbygget ud fra forestillingen om huse, udført efter principper, der er kendte idag. Fremover kunne man tænke sig, at reglen blev, at alle dele anbringes således, at de omgives af modullinier. Kun da kan man opfylde modulordningens ånd: 1 dm-nettet, fuge-symmetrien.

Der kan derfor trods alt opstå en vis tvivl om berettigelsen af princippet midte-væg. Som ovenfor nævnt er der ingen uoverensstemmelse mellem principperne, når alle vægtykkelser er i modul, 10, 20 eller 30 cm. Men ved blandede vægtykkelser må man vælge: Vil man gå strengt til værks ud fra princippet „alle elementer begrænset af en modullinie” eller vil man tillade enkelte rummål i halve moduler mod at få en simplere råbygningstandardisering.

De kommende års erfaringer og mulige udvikling af helt nye metoder må danne grundlaget for en nøjere undersøgelse af de økonomiske konsekvenser af byggeriets modulmålsætning. Det er da af stor betydning, at erfaringerne indsamles på det mest hensigtsmæssige grundlag, og det må derfor være rigtigt, når det i modulforslaget anbefales at gå ud fra midte-væg princippet, som man idag vurderer som det mest økonomiske og antageligt også på langt sigt mest levedygtige.

Målet for bestræbelserne.

Modulordningen og den følgende standardisering og nøjagtighedsforbedring er grundlaget for en rationalisering af byggeprocessen, der vil ende med en industrialisering.

Begyndelsen er gjort med det voksende samarbejde mellem forskellige bygherrer og arkitekter om at anvende ensartede bygningsdele og byggemetoder, således at det har været muligt at præfabrikere elementer. Montagebyggeriet er det mest synlige resultat, men også murværksbyggeriet, der stadig vil være den dominerende del, har fået et arbejdsgrundlag i modulordningen.

En standardiseringskomité må nu nedsættes til at samle overvejelserne vedrørende mål, tolerancer og samlingsmetoder, således at industrialiseringen efterhånden kan gennemføres: Bygningerne samles af standarddele, der, selv om de kommer fra mange forskellige håndværkere, værksteder eller fabrikker, altid kan sammenbygges uden tilpasning på stedet.

Standardiseringen kan sættes ind på en række løsrevne områder, f. eks. installationsgenstande m. v., men i reglen hører problemerne så nøje sammen, at det ikke er muligt kritiskløst at begynde standardiseringen ud fra løsrevne smådele eller ud fra råbygningen alene.

Resultatet må blive billigere boliger som følge af masseproduktionens fordele. Det udførte arbejdes kvalitet vil også blive bedre, når alle dele kan fremstilles på en fabrik eller under ordnede forhold hjemme på værkstedet.

SUMMARY

Modular co-ordination in Denmark.

The proposed Danish system of

gavn for de øvrige bygningsdele i en del af rummene. Og på langt sigt kan ønskerne forenes i mange tilfælde, når vægtykkelserne er i modul og f. eks. alle 20 cm eller alle 10 cm. Er rummets vægge 20 cm tykke, kan princippet midte-væg i 3 dm-nettet kombineres med modullinier langs kant af væg, d. v. s. rummål i hele dm. Er begge vægge 10 cm tykke, opnås det samme, men 3 dm-planlægningsnettet, der forsåvidt blot udtrykker råbygningens standardiseringsregel, er forskudt 5 cm i forhold til rummets 1 dm-net.

Naturligvis vil der også forekomme rum, hvor vægtykkelserne er forskellige f. eks. 10 og 20 cm, og følgelig rummål, der kun er delelige med 5 cm, således at man – inkonsekvent – ikke har modullinier langs alle vægelementer, men denne ulempe er næppe så væsentlig, når der iøvrigt er opnået et effektivt standardiseringsgrundlag for råhuset samtidig med at i hvert fald mange rum er i modulmål.

En variation af midte-væg princippet giver måske løsningen: I visse tilfælde vil der være en fordel ved at forrykke planlægningsnettet $\frac{1}{2}$ modul for grundmodulnettet, idet en 20 cm tyk væg fordeles med 5 og 15 cm til hver side af planlægningsnettet, mens 10 cm vægge fordeles med 2×5 cm. Systemet er dog ikke gennemarbejdet.

Vægtykkelserne er, som det fremgår af ovenstående, et væsentligt spørgsmål.

Råbygningen består idag af bærende vægge af varierende tykkelse – varierende både i samme etage og op gennem etagerne.

Den nye landsbygge lov vil forhåbentlig give grundlaget for at udføre vægge med konstant tykkelse gennem etagerne ved at variere sten- og mørtelstyrken – eller betonstyrken.

Et nyt murstensformat – en stor trekvart sten – der giver 2 dm vægge vil være af stor betydning – og samtidig synes der at være håb om, at den kan godkendes som tilstrækkeligt lyd-isolerende i lejlighedsskel.

I beton er det måske muligt udelukkende at benytte 20 cm vægge, hvis vægge med hulrum kan fremstilles billigt nok.

Alle ræsonnementer er opbygget ud fra forestillingen om huse, udført efter principper, der er kendte idag. Fremover kunne man tænke sig, at reglen blev, at alle dele anbringes således, at de omgives af modullinier. Kun da kan man opfylde modulordningens ånd: 1 dm-nettet, fuge-symmetrien.

Der kan derfor trods alt opstå en vis tvivl om berettigelsen af princippet midte-væg. Som ovenfor nævnt er der ingen uoverensstemmelse mellem principperne, når alle vægtykkelser er i modul, 10, 20 eller 30 cm. Men ved blandede vægtykkelser må man vælge: Vil man gå strengt til værks ud fra princippet „alle elementer begrænset af en modullinie” eller vil man tillade enkelte rummål i halve moduler mod at få en simplere råbygningstandardisering.

De kommende års erfaringer og mulige udvikling af helt nye metoder må danne grundlaget for en nøjere undersøgelse af de økonomiske konsekvenser af byggeriets modulmålsætning. Det er da af stor betydning, at erfaringerne indsamles på det mest hensigtsmæssige grundlag, og det må derfor være rigtigt, når det i modulforslaget anbefales at gå ud fra midte-væg princippet, som man idag vurderer som det mest økonomiske og antageligt også på langt sigt mest levedygtige.

Målet for bestræbelserne.

Modulordningen og den følgende standardisering og nøjagtighedsforbedring er grundlaget for en rationalisering af byggeprocessen, der vil ende med en industrialisering.

Begyndelsen er gjort med det voksende samarbejde mellem forskellige bygherrer og arkitekter om at anvende ensartede bygningsdele og byggemetoder, således at det har været muligt at præfabrikere elementer. Montagebyggeriet er det mest synlige resultat, men også murværksbyggeriet, der stadig vil være den dominerende del, har fået et arbejdsgrundlag i modulordningen.

En standardiseringskomité må nu nedsættes til at samle overvejelserne vedrørende mål, tolerancer og samlingsmetoder, således at industrialiseringen efterhånden kan gennemføres: Bygningerne samles af standarddele, der, selv om de kommer fra mange forskellige håndværkere, værksteder eller fabrikker, altid kan sammenbygges uden tilpasning på stedet.

Standardiseringen kan sættes ind på en række løsrevne områder, f. eks. installationsgenstande m. v., men i reglen hører problemerne så nøje sammen, at det ikke er muligt kritikløst at begynde standardiseringen ud fra løsrevne smådele eller ud fra råbygningen alene.

Resultatet må blive billigere boliger som følge af masseproduktionens fordele. Det udførte arbejdes kvalitet vil også blive bedre, når alle dele kan fremstilles på en fabrik eller under ordnede forhold hjemme på værkstedet.

SUMMARY

Modular co-ordination in Denmark.

The proposed Danish system of

modular co-ordination is presented and discussed in this article. The proposed module is 10 cm, and, in order further to simplify the measurements of the larger parts of the building, it is proposed that a planning module is used in dimensioning the carcassing itself, namely 30 cm horizontally and 20 cm vertically, which two dimensions occur naturally with standard bricks.

A system of tolerances must of necessity be introduced, and the weakness of the basic hole system are shown in fig. 1, it being argued that standardised components should be able to be used both in walls built by traditional methods, and together with other standardised components. The Danish proposal for clearance symmetry about the modular line as shown in fig. 2 must therefore be recommended.

The effect of the various inaccuracies is shown in fig. 3. In Denmark, the tolerance on concrete dimensions is now often $\pm 3-5$ mm. Problems concerning the accuracy in masonry constructions are mentioned, and it is considered that it is possible to attain considerable accuracy in brickwork when required.

The location of the modular grid gives rise to various problems. Two principles are discussed. The first is that the carcassing shall be in module and the components (walls, deck-slabs etc.) standardised to fairly large increments (30 or 60 cm) which means locating the modular grid in mid-wall (or at least a continuous planning-grid), the second is that all rooms shall be in module, which means locating the grid in the face of the wall (advantageous for the small components, cabinets, flooring etc.). Wall thicknesses are, however, at present not modulated, so it will not as a rule be possible to have an independent modular grid for each room, and still have the building in module. It will, in any case, not always be possible to have all the rooms in module, as in fig. 4, which shows a building with more rooms in the front than in the back. If the walls are in module, the two principles stated above may be combined with possibly a 5 cm displacement between the carcassing grid (30 cm) and the room grids (10 cm). From this it is argued that as far as it can be foreseen it will be an advantage to standardise the mid-

wall principle (now for the carcassing, in the future for all components).

Fig. 1. Basic hole system applied to traditional building constructions with prefabricated components. The upper drawing shows a standardised component fitted in a wall cast in situ. The lower drawing shows that the same component gives too large a clearance when it is assembled with similar components.

Fig. 2. Clearance symmetry system. The upper drawing shows standardised elements in prefabricated construction, and the lower drawing the same components in a traditionally built wall, cast in situ.

Fig. 3. The relationship between the clearance and the inaccuracies in manufacture and location.

Fig. 3.1. The ideal case as shown on drawings. In practice, deviations occur as shown below.

Fig. 3.2, 3.3, 3.4. The work tolerance, $T_t = t_t^+ + t_t^-$ (inaccuracy in manufacture). The components are drawn correctly located i.e. centre line of the component lies exactly halfway between the two limiting modular lines.

Fig. 3.5. Location deviation. The maximum permissible deviation between the centre line of the component and the centre line of the modular span is t_m . The figure shows an element without manufacturing inaccuracies.

Fig. 3.6. Minimum clearance to modular line $\frac{1}{2} n_f - t_m - \frac{1}{2} t_t^+$ (largest component in least favourable position).

Fig. 3.7. Maximum clearance to modular line $\frac{1}{2} n_f + t_m + \frac{1}{2} t_t^-$ (smallest component in least favourable position). The extreme cases 6 and 7 are obtained as a result of cumulative inaccuracies in manufacture and location.

PLANLAGTE PUBLIKATIONER
I MONTAGEBYGGERI-SERIEN

omhandler følgende emner:

- Udvalg 1. *Montagebyggeriets
nuværende stade.*
- Udvalg 2. *Kuldebroer. (Publ. nr. 2).
Fugttransport i ydervægge.
Facadeelementers rationelle
opbygning og virkemåde.*
- Udvalg 3. *Skiver opbygget af elementer. (Publ. nr. 1).
Bæreevne af tværbelastede,
indstøbte bolte.

Koncentrerede belastninger på
bjælker. (Publ. nr. 5).*
- Udvalg 4. *Fuger. (Publ. nr. 4).
Samling af elementer,
specielt betonelementer.

Byggeriets nøjagtighed. (Publ. nr. 6).
Statistik, målinger fra praksis,
betonelementer, forme, råbygningen.

Installationer.
Modulordningen. (Publ. nr. 3).*