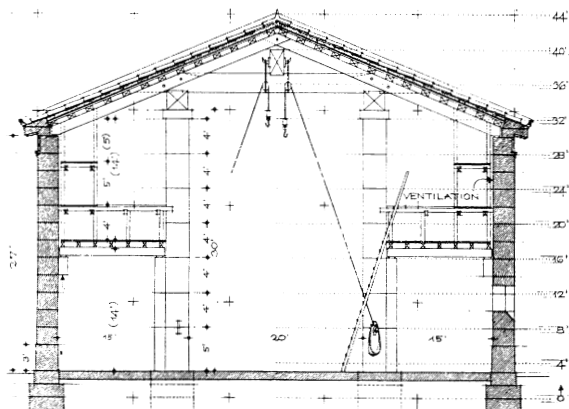


Modulprojektering.

Af Preben Ankerstjerne og Klaus Blach, arkitekter, m.a.a.

Gengivet med tilladelse af tidsskriftet *Arkitekten* og *Statens Byggeforskningsinstitut*.



Arsenalet i Piræus. Rekonstruktion af Eivind Lorenzen.

Den følgende artikel er skrevet som en introduktion til den vejledning i modulprojektering, SBI's Modulkomite, har under udarbejdelse, og som vil blive udsendt blandt andet som løsblade til Bygebogen.

Artiklen viser, hvordan byggemodul kommer ind i billedet i den række af velkendte skridt og valg, som kendetegner almindelig projekteringsmetodik.

Projektering omfatter blandt andet arbejdet med byggeteknisk afklaring af bygningsdele, samplingsdetaljer etc. Dette arbejde stiler mod den bedst mulige tilfredsstillelse af kendte funktionskrav, idet der samtidig søges gennemført en målkoordinering som et middel til at sikre enkel udførelse.

Målkoordineringen indebærer, at en formålstjenlig målenhed udvælges, og at den overvejende del af alle mål på bygningsdele, samplingsdetaljer o. s. v. derefter baseres på den valgte grundlæggende målenhed, for eksempel ved at være multipla af denne. Herved opnås en simpel indbyrdes orden blandt benyttede mål, og afhængig af den valgte målenheds størrelse, simple målforhold. Eksempelvis kan nævnes, at det ved konventionelt byggeri med normalmursten som væsentligt materiale, ofte har været naturligt at lade forbandt i blank mur være bestemmende for valg af grundlæggende målenhed.

Det har indtil de seneste år været tilfredsstillende, at målkoordinering blev gennemført individuelt for hver byggeopgave. Bestræbelserne for at opnå en ønskelig målkoordinering kunne derfor baseres på forskellige målenheder, valgt under hensyn til den foreliggende byggeopgave samt de konstruktioner og materialer, der påtænkes anvendt.

Stigende interesse for anvendelse af industrielle produktionsmetoder har medført ønsker om at kunne anvende forfremstillede komponenter i byggeriet, samt om i så vid udstrækning som muligt at kunne undgå tildannelse af disse på byggepladsen. Herved er opstået et behov for en målkoordinering, der rækker udover den enkelte byggeopgave.

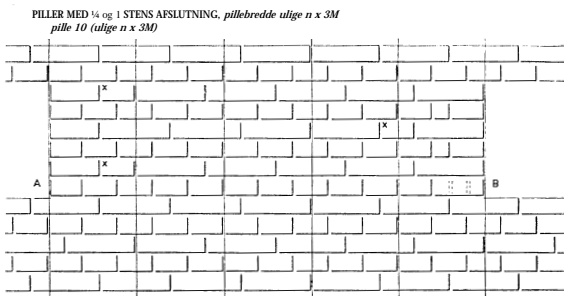
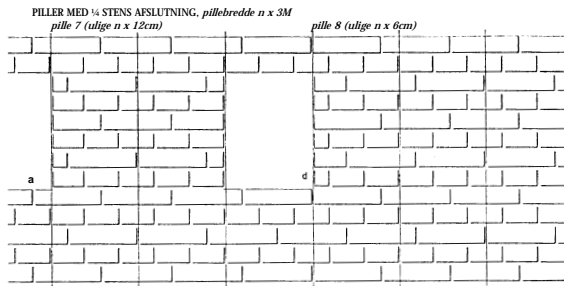
Som grundlag for en sådan målkoordinering er vedtaget „Modulordning for byggeindustrien“ med byggemodulen $M = 1 \text{ dm}$ (100 mm) som grundlæggende målenhed.

Modulprojektering – hvordan?

Ved *den mindre byggeopgave* er det naturligt, at komponenter med modulmål anvendes i den udstrækning, de allerede findes på markedet. Herudover må komponenter, der ikke har modulmål, indpasses i projektet, idet opgavens omfang normalt ikke vil berettige eller muliggøre projektering af nye komponenter. Efterhånden som flere komponenter med modulmål bliver gængs handelsvare, vil den mindre byggeopgave i stigende grad kunne gennemføres med komponenter, der har modulmål.

Ved *større byggeopgaver* vil udgangspunktet for (modul)projektering ligeledes være eksisterende komponenter med modulmål. Herudover vil opgavens omfang dog ofte kunne muliggøre projektering af nye, modulære komponenter. Herved vil det i praksis i mange tilfælde være muligt at gennemføre betydende dele af projekteringsarbejdet med modulære komponenter. Indpasning af komponenter, der ikke holder modulmål, vil kunne begrænses til kun at omfatte mindre væsentlige, ofte utypiske bygningsdele.

For *producenter og officielle instanser* vil opgaven normalt være at projektere komponenter med modulmål. Dette arbejde kan bestå i projektering af nye komponenter, revision af dimensioner og detailudformning af eksisterende komponenter, eller en gennemarbejdning til påvisning af på hvilken måde eksisterende, ikke-modulære (ofte mindre) komponenter kan indpasses i modulprojekteret byggeri (eksempelvis normalmursten).



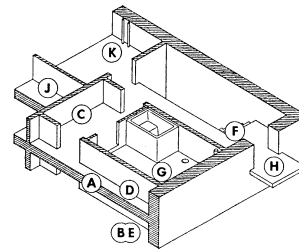
Teglregisteret gennemgår for en række forbandter, hvordan modulært murværk kan udføres med normal-mursten.

Fremgangsmåden ved projektering i henhold til byggemodulregler kan variere, afhængig af den foreliggende opgave.

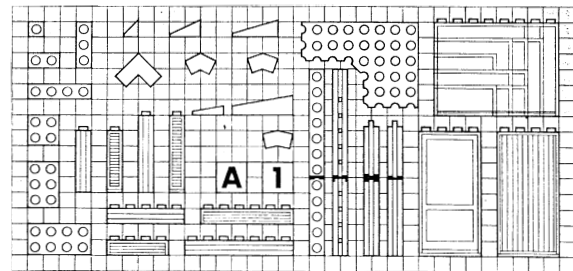
I forenklet form kan de forskellige projekteringsstilfælde opstilles i en skematisk oversigt som følger:

Projektering med komponenter	... der har modulmål	1
		... der ikke har modulmål	2
	... af komponenter	... der ønskes givet modulmål	3
		... der ikke behøver at have modulmål	4

I praksis vil de af ovennævnte projekteringsstilfælde, der har størst interesse i forbindelse med *modul*projektering, normalt være følgende:



Byggebogen indeholder systematiske oversigter over samlingsdetaljer ved ydervægge, lette skillevægge, dæk, gulvbelægninger, tagdækninger o.s.v.



Modulx-byggeklodserne illustrerer begrebet generel anvendelighed: Altid modul-komponenter, altid ensartede sammenbygningstilfælde, altid samme tolerance.

1. Projektering med modulkomponenter.

(Projektering udelukkende med modulkomponenter kan endnu ikke gennemføres ved almindeligt forekommende byggeopgaver, men en stærk tilnærmelse til dette projekteringsstilfælde må forudses) .

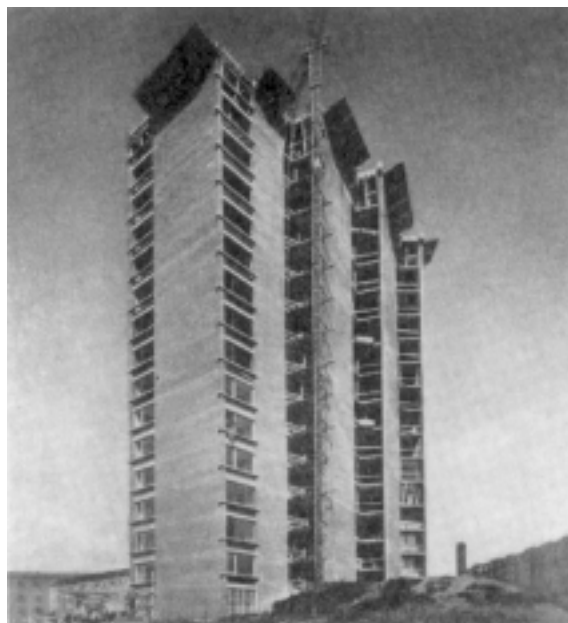
1 + 2. Indpasning af ikke-modulære komponenter.

(Ved projektering i henhold til byggemodulregler vil det være naturligt at anvende modulkomponenter i den udstrækning, de findes på markedet, men herudover vil det være nødvendigt ved de fleste byggeopgaver at indpasse ikke-modulære komponenter) .

3. Projektering af modulkomponenter.

(Omfatter projektering af helt nye modulkomponenter, eventuelt sammensætning af mindre ikke-modulære komponenter til større modulkomponenter).

I det følgende gennemgås de tre ovennævnte projekteringsstilfælde.



Charlottehøjhus i Aarhus. Umodulære spring i tykkelsen på bærende, murede vægge undgået ved anvendelse af beregnet murværk.

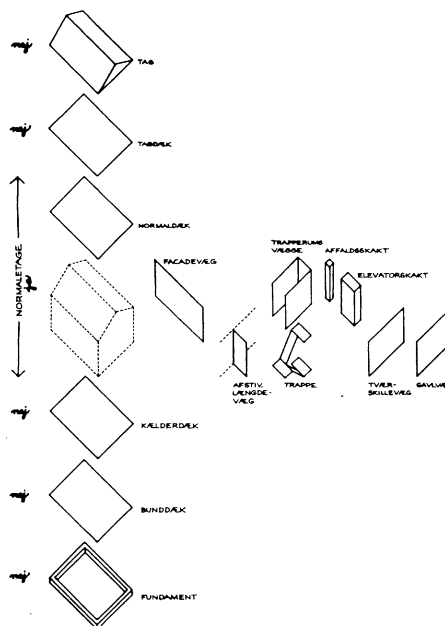
Projektering med modulkomponenter.

For at komponenter kan betegnes som modulkomponenter kræves, at de er dimensioneret og detailudformet under overholdelse af byggemodulregler.

I den udstrækning eksisterende modulkomponenter kan anvendes, kan skitseprojektering m.v. ske umiddelbart over modulnet med byggemodulen – eller multipla heraf – som maskevidde, forudsat at de sammenbygningstilfælde, der forekommer under projekteringen, har været analyseret og er blevet gennemarbejdet ved projekteringen af de enkelte komponenter.

Normalt vil modulkomponenter, der findes som „katalogvarer“, dog ikke være umiddelbart anvendelige i enhver sammenhæng. Blandt andet af økonomiske eller produktionstekniske årsager vil producenter ofte begrænse anvendeligheden af modulkomponenter til typiske, hyppigt forekommende sammenbygningstilfælde. Selv hvor oplysninger om modulkomponenters anvendelsesområde er gjort tilgængelige fra producentens side, vil det derfor som regel være nødvendigt, at den projekterende allerede under skitseprojekteringen kontrollerer, hvorvidt de modulkomponenter, der påtænkes anvendt, kan give tilfredsstillende løsninger for alle sammenbygningstilfælde (samlingsdetaljer) i det foreliggende projekt.

En sådan kontrol kan blandt andet gennem-



Normaletagens komponenter går særlig hyppigt igen og er derfor et naturligt udgangspunkt, når de enkelte komponenter skal udformes.

føres ved at sammenholde modulkomponenter med systematiske oversigter vedrørende udførelser og samlingsdetaljer.

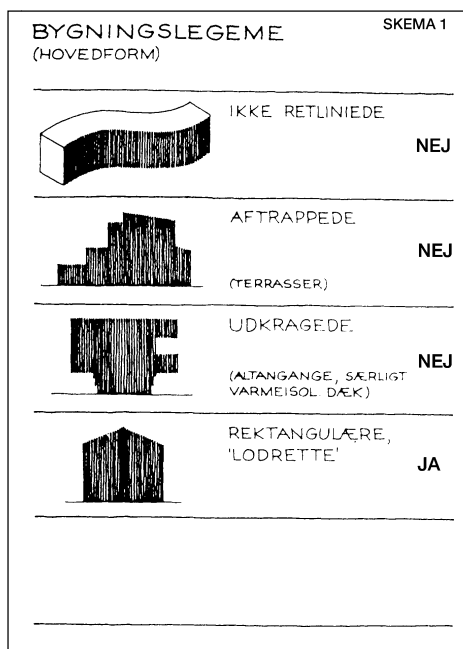
Indpasning af ikke-modulære komponenter.

Det vil normalt være nødvendigt under projekteringen også at undersøge anvendelsesmulighederne for förfremstillede komponenter, der ikke har modulmål. Hver gang sådanne inddrages i projekteringen, kan der opstå specialtilfælde, der kræver undersøgelse af, hvilke konsekvenser anvendelsen kan få.

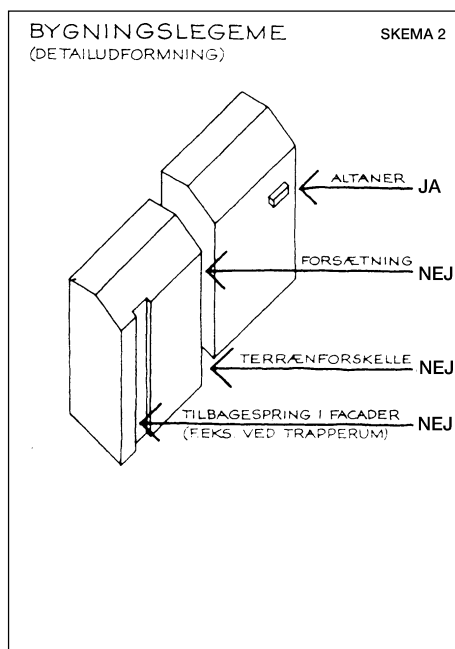
Normalt vil uheldige konsekvenser være mindst – eller slet ikke opstå – i forbindelse med ikke-modulære komponenter, der anvendes under færdiggørelsesarbejder, som ikke, eller kun i ringe udstrækning, spiller en målæssig rolle for senere trin i projektering eller udførelse.

Særligt uheldige konsekvenser må derimod ofte forudses i forbindelse med ikke-modulære komponenter, der anvendes til råhuset, idet disse – ofte bærende – komponenter hyppigt anvendes som udgangspunkt for følgende trin i projektering og udførelse, herunder målafsætning for færdiggørelsesarbejder.

Uanset det tidspunkt i projekteringen, hvor ikke-modulære komponenter inddrages, vil eventuelle ulemper normalt være mindst i forbindelse



Skema 1.



Skema 2.

Oversigt over nogle af valgmulighederne ved fastlæggelse af gyldighedsområde. Med ja og nej er vist et sæt af mulige valg.

med små komponenter (normalmursten, bloksten, beslag, armaturer og lignende), og størst i forbindelse med store komponenter (forskallingsflager, dækkomponenter, vægkomponenter, døre, badekar og lignende).

Modulprojektering, der skal omfatte indpasning af ikke-modulære komponenter, bør derfor indledes med en særlig undersøgelse af råhusets større komponenter (især dæk, vægge, bjælker og søjler) allerede på skitseprojekteringsstadiet. Såfremt en sådan undersøgelse viser, at de undersøgte komponenter umiddelbart kan anvendes, som de forefindes, kan de følgende trin i projekteringen baseres herpå. Hvis de undersøgte komponenter ikke umiddelbart kan anvendes og tilfredsstillende alle nødvendige sammenbygningstilfælde, bør det undersøges om opgaven kan løses, ved at der i begrænset omfang anvendes specialkomponenter. Specialkomponenter kan være afvigende i målmæssig henseende (tilslutningselementer, passtykker o. l.) eller ved særlige konstruktive forhold (betonkomponenter udført med særlig armering, beregnet murværk o. l.).

Overvejelser vedrørende økonomiske og produktionstekniske forhold vil ofte i denne forbindelse være afgørende for, i hvilken udstrækning specialkomponenter kan finde anvendelse.

Den beskrevne fremgangsmåde for råhusets bærende komponenter kan anvendes også ved indpasning af ikke-modulære komponenter på senere trin i projekteringen.

Projektering af modulkomponenter.

Ved projektering af modulkomponenter stilles der principielt imod, at disse i videst muligt omfang skal være anvendelige ved alle forekommende byggeopgaver (generel anvendelighed).

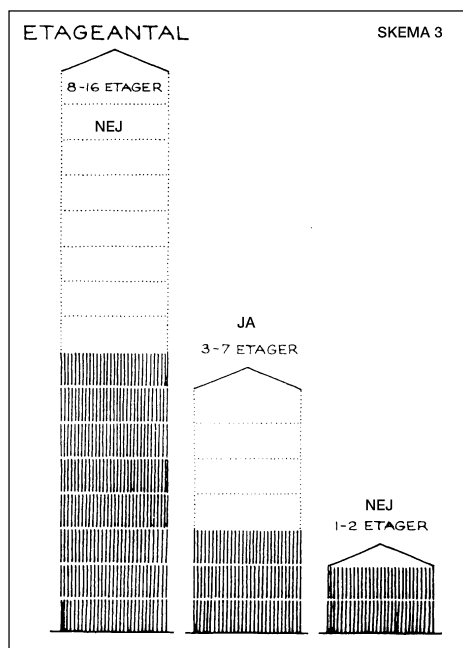
Denne problemstilling betinger imidlertid, at de pågældende modulkomponenters dimensioner og detailudformning må baseres på gennemklaring af såvidt muligt alle de sammenbygningstilfælde, der forekommer, eller kan forudses at ville forekomme i praksis.

Arbejdsindsatsen ved gennemklaring af en modulkomponent vil være afhængig af det antal sammenbygningstilfælde, det skønnes rimeligt at behandle. Det er derfor i hvert enkelt tilfælde nødvendigt at afveje, hvorvidt de anvendelsesmuligheder, der kan opstå, står i et rimeligt forhold til den nødvendige arbejdsindsats.

Med det formål at projektere nye modulkomponenter, der i formålstjenligt omfang er generelt anvendelige, kan benyttes en arbejds metode, som beskrevet i det følgende:

Skridt 1: Valg af komponent.

Visse projekteringstilfælde kan indebære samtidig projektering af mange forskellige modulkomponenter (vil ofte være ønskeligt ved såkaldte systembyggerier). I disse tilfælde kan det være hensigtsmæssigt at finde frem til særligt betydende komponenter og modulprojektere disse først.



Skema 3.

De særligt betydende komponenttyper vil normalt være sådanne, der optræder i stort antal („gentages“ hyppigt).

Ved almindeligt etageboligbyggeri vil det således i reglen være normaletagens komponenter, der gentages særligt hyppigt og derfor bør være udgangspunkt for modulprojektering af de enkelte komponenter.

Skridt 2: Fastlæggelse af „gyldighedsområde“.

Eftersom arbejdsindsatsen ved projektering af en modulkomponent som regel øges i takt med udvidelse af komponentens anvendelsesområde, er det nødvendigt at definere en modulkomponents ”gyldighedsområde“.

En sådan definition, der senere kan anvendes ved beskrivelse af formål, hvortil den færdige modulkomponent kan anvendes, vil eksempelvis kunne etableres ved besvarelse af følgende spørgsmål:

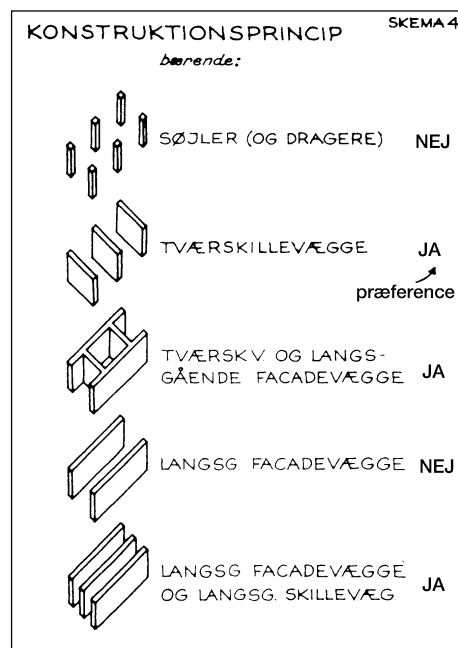
a. *Til hvilke typer af byggeri skal komponenten være anvendelig?*

(For eksempel til boligbyggeri, kontorhusbyggeri, skolebyggeri eller hospitalsbyggeri).

Dette valg vil ofte spille en særlig rolle for visse af råhusets bærende komponenter. Eksempelvis kan spændvidder, og dermed dimensioner for blandt andet spærfag og dæk, påvirkes heraf.

b. *Til hvor komplicerede bygnings udformninger skal komponenten være anvendelig?*

(For eksempel kun til simple, rektangulære planudformninger på plant terræn, eller herudover



Skema 4.

til mere komplicerede bygningsudformninger). Dette valg vil normalt være særligt afgørende for, hvor høj grad af generel anvendelighed den pågældende komponent kan gives.

c. *Til hvor højt byggeri skal komponenten være anvendelig?*

(Ved boligbyggeri kan eksempelvis vælges, hvorvidt komponenten kun skal være anvendelig ved 1-etages byggeri, eller om den herudover også skal være anvendelig ved byggeri i indtil 3 etager, indtil 7 etager o. s. v.).

Dette valg vil hovedsagelig være vejledende for visse belastninger (herunder også vindpåvirkninger), som den pågældende komponent må dimensioneres til at kunne modstå.

d. *I forbindelse med hvilke konstruktionsprincipper skal komponenten kunne anvendes?*

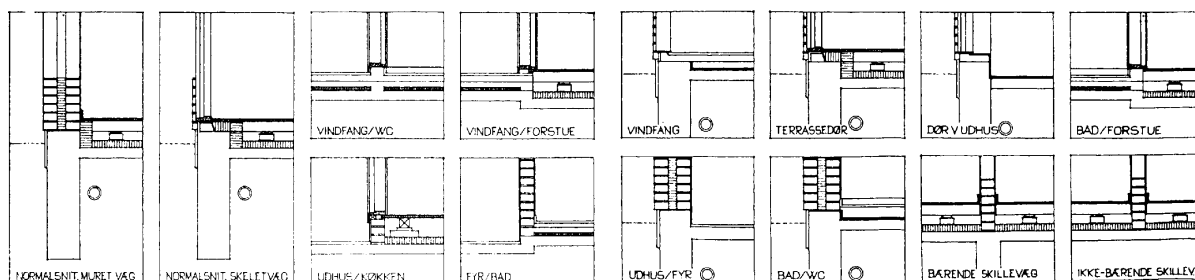
(For eksempel ved konstruktioner baseret på et bærende søjle-drager system, på bærende tværskillevægge etc.).

Et valg på dette punkt indikerer først og fremmest den principielle udformning af råhusets bærende komponenter, men kan også påvirke detailudformningen af komponenter, der skal anvendes under færdiggørelsesarbejder.

e. *Med hvilke materialer skal komponenten kunne udføres?*

(For eksempel natursten, keramik, træ, metal, glas, plastic. Eventuelt kombineret anvendelse af flere materialer).

Dette valg spiller en særlig rolle i forbindelse med spørgsmålet om beherskelse af målafvig



For en dækkonstruktion til et eenfamiliehus kan det være nødvendigt at afklare mere end et dusin forskellige detaljer.

ser, vedtagelse af tolerancer og fastlæggelse af tilvirkningsmål.

Det bør bemærkes, at ovennævnte valg træffes, inden modulprojekteringen startes, og kun har til formål at etablere en art huskeliste til vejledning under projekteringen.

Skridt 3: Fastlæggelse af komponentens nominelle modulmål.

Normalt bør kun mål, der senere vil have betydning ved sammenbygning (såkaldte tilslutningsmål), fastlægges med nominelle modulmål.

Hvilke mål, der kan komme til at spille en rolle ved sammenbygning, kan kun afgøres erfaringsmæssigt i hvert enkelt tilfælde. Eksempelvis vil det dog som regel være tilstrækkeligt at fastlægge et enkelt tilslutningsmål for komponenttyper som armaturer, beslag og lignende, medens byggeblokke, dækelementer og lignende oftest bør have modulmål på alle dimensioner for at kunne tilfredsstille almindeligt forekommende sammenbygningstilfælde.

Baseret på de valg, der er foretaget under skridt 1 og 2, kan etableres en beskrivelse af den komponent, der projekteres (eksempelvis, at det drejer sig om en etagehøj komponent af beton til en bærende tværskillevæg i normaletagen i et etageboligbyggeri). Eventuelt kan samtidig gennemføres en skitsering, som med grov tilnærmelse viser, hvorledes komponenten kan udformes.

Herefter søges, gennem videre skitsering og eventuelt beregning etc., opnået en byggeteknisk afklaring af komponentens udformning. Udgangspunktet for denne gennemarbejdning vil være samtlige kendte og relevante *funktionelle krav*, der kan udledes af discipliner som for eksempel boligforskning, statik, materiallære og produktionsteknik. Når komponentens mål er fastlagt ud fra funktionelle krav, eller når det er fastslået, at de funktionelle krav ikke øver en primær indflydelse på disse mål, kan dens nominelle modulmål bestemmes ved at den indtegnes i den mindst mulige „kasse“, hvis kantlængder er modulmål.

En komponents nominelle modulmål må altid være større end eller lig med de mål, der er bestemt ved funktionelle krav.

Skridt 4: Fastlæggelse af samlingsdetaljer.

Når komponenten er bestemt ved sine nominelle modulmål – i en eller flere dimensioner – må den detailudformes med henblik på sammenbygning.

Udgangspunktet for projektering af samlingsdetaljer vil være funktionelle krav til fugeudførelse, samt kendskab til målafvigelser og tolerancer ved fremstilling og montering.

Hovedopgaven ved afklaring af samlingsdetaljer er en løsning af fugeproblemet. De typer af fugeudformninger, det normalt vil være af interesse at få fastlagt, for at afklare forekommende sammenbygningstilfælde, er følgende:

a. Den tilstødende komponent bidrager med en fugeandel, der er lig med en halv normalfuge for den komponent, som ønskes modulprojekteret (eksempelvis sammenbygning af ens, lette facadekomponenter).

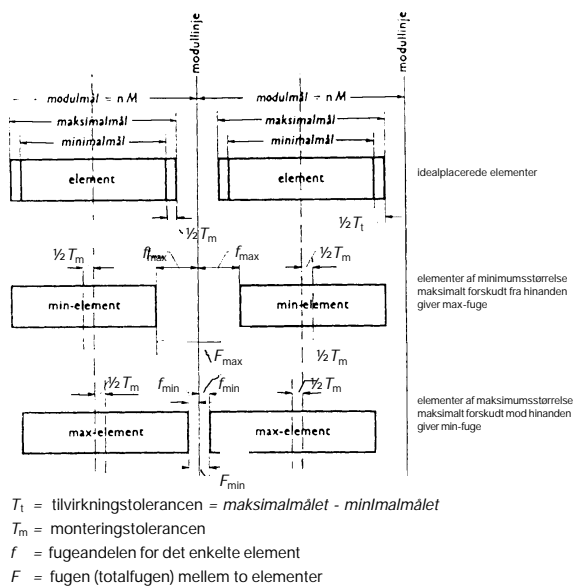
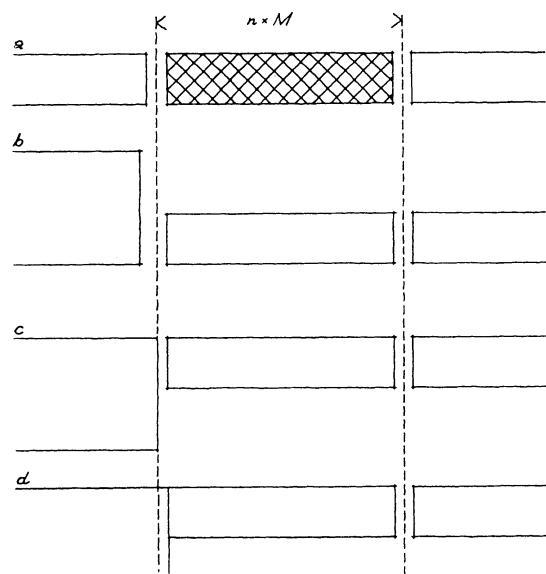
b. Den tilstødende komponent bidrager med en fugeandel, der er større end en halv normalfuge for den komponent, som ønskes modulprojekteret (eksempelvis ovennævnte lette facadekomponent indsat i murværk af normalmursten).

c. Den tilstødende komponent bidrager med en fugeandel, der er mindre end en halv normalfuge for den komponent, der ønskes modulprojekteret (eksempelvis let facadekomponent indsat i murværk af letbetonblokke med knasfuger).

d. Den tilstødende komponent bidrager ikke med nogen fugeandel, og går eventuelt ind i modulområdet for den komponent, der skal modulprojekteres (eksempelvis let facadekomponent indstøbt i beton).

Hvilke - og hvor mange - samlingsdetaljer det vil være nødvendigt eller rimeligt at afklare, afhænger af den foreliggende opgave.

Ved et konkret foreliggende projekt vil det være nødvendigt at afklare alle samlingsdetaljer, der forekommer i projektet.



En komponent skal i regelen kunne sammenbygges med forskellige typer af andre komponenter - altid omkring en hensigtsmæssig fuge, og dette krav kan påvirke komponentens detailudformning.

Ved projektering af komponenter, der ønskes produceret til alment brug (lagervare), vil det være rimeligt at afklare de samlingsdetaljer, der normalt kan forekomme i gængs byggeri.

Preben Ankerstjerne. Klaus Blach.

En byggemodul på 1 dm blev foreslået i "Forslag til Dansk Modulordning for byggeriet", beretning ved Statens Byggeforskningsinstituts Modulkomite, 1955.

I "Modulordning for byggeindustrien" (DS 1010, 1958), vedtoges en byggemodul på 1 dm, som grundlæggende længdeenhed.

Den ovennævnte danske standard modsvarer af tilsvarende vedtagelser i Finland, Norge og Sverige. En lang række lande udover de nordiske har på lignende måde vedtaget forskellige grundlæggende målenheder:

- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1. Australien 1 dm (og 4") | 13. Svejts 1 dm |
| 2. Belgien 1 dm | 14. Sydafrikanske Union (4") |
| 3. Canada 4" | 15. Tjekkoslaviet 1 dm |
| 4. England (UK) 4" | 16. Tyrkiet 125 mm |
| 5. Grækenland 1 dm | 17. Ungarn 1 dm |
| 6. Holland 1 dm | 18. USA 4" |
| 7. Indien 1 dm | 19. USSR dm |
| 8. Japan specialsystem | 20. Vesttysk- |
| 9. Jugoslavien (1 dm) | land... 1 dm og 125 mm |
| 10. Polen 1 dm | 21. Øst 1 dm |
| 11. Portugal 1 dm | () = Ikke endelig vedtaget. |
| 12. Rumænien 1 dm | |

Multipla af byggemodulen benævnes modulmål og angives i størrelsesbetegnelser i dm.

Ved angivelse af modulmål, herunder også 1 dm, anvendes bogstavet "M" som forkortelse for den grundlæggende målenhed.

Inden for andre områder end byggeriet findes, også her i landet, etablerede modulordninger, baseret på grundlæggende målenheder, der afviger fra byggemodulen (for eksempel målenheden "cicero" inden for typografien). Det er derfor af betydning, at der i forbindelse med modulprojektering, kun anvendes betegnelsen "byggemodul" - eller forkortelsen "M", således at misforståelser undgås. Især bør ordet "modulen" søges undgået, det indikerer højst en målkoordinering, men aldrig hvilken grundlæggende målenhed der er anvendt.

Dansk Standard 1011.3 omhandler dimensionering af modulkomponenter.

For at undgå forveksling bør forkortelsen M anvendes ved alle angivelser af modulmål Eksempelvis bør modulmål for et vinduesformat opgives som „12 M x 14 M“ og ikke som „12 x 14 M“ eller „12 x 14“.

Modulordningens danske standards og rekommandationer

Modulblade med generelt indhold:

- DS 1010 Modulordning for byggeindustrien (kr. 6,00)
- DS 1011.1 Byggemodul (kr. 3,00)
- DS 1011.2 Planlægningsmoduler for boligbyggeriet (kr. 3,00)
- DS 1011.3 Dimensionering af modulelementer (kr. 3,00)
- DS 1000 Faste højder i bygninger (kr. 4,50)
- DS/R 1035 Afsætning af højdemål for installationer og indbygningskomponenter (kr. 3,00)

Modulblade vedrørende råbygningen:

- DS/R 1038 Hule dækkomponenter af beton (kr. 3,00)
- DS/R 1039 Indvendige vægge - Bærende vægkomponenter af beton (kr. 3,00)
- DS/R 1040 Trapperum for toløbstrapper (kr. 3,00)
- DS/R 1041 Bloksten - mål og forbandter (kr. 5,50)
- DS/R 1042 Ikke-bærende indvendige vægge - lette vægkomponenter, byggemål (kr. 3,00)

Modulblade vedrørende VVS:

- DS 1036 Målgivelse af rørinstallationer - Rørafstande og rørlængder (kr. 4,50)
- DS/R 1037 Målgivelse af rørinstallationer - Toleranceudligning (kr. 3,00)
- DS 1022 Søjleradiatorer af stålplade (kr. 3,00)
- DS 1023 Søjleradiatorer af støbejern (kr. 3,00)

Modulblade vedrørende vinduer og døre:

- DS 1003 Vinduer af træ - Modulbånd, hulmål og karmydermål (kr. 4,50)
- DS 1004 Facadevinduer - Typebetegnelse (kr. 4,50)
- DS 1005 Vinduer af træ - Terminologi og målbenævnelser (kr. 4,50)
- DS 1006, 1007, 1008 og 1009 Normalvinduer af træ - type B 3.0, B 4.0, B 4.9 og D 2.0 pr. stk. (kr. 4,50)
- DS 1028 Enfløjede indvendige døre af træ (kr.10,50)
- DS 1015, 1016 og 1017 Døre til brandsikring - Klasse BSD, BDD og BHD pr. stk. (kr. 3,00)