

12.2 Betonelementer

Af Jesper Frøbert Jensen



Figur 1. Bella Sky Hotel, København, Opført 2008-2011, Arkitekt: 3XN. Som billedet viser, er betonelementbyggeri ikke kun lange firkantede kasser opført langs et kranspor.

12.2.1 Betonelementer i Danmark

Efter anden verdenskrig var presset på byggesektoren meget stort, og der måtte findes en mere rationel måde at opføre bygninger på. Det blev begyndelsen til anvendelse af industrialiserede metoder i byggeriet, hvor betonelementer produceres indendørs på en fabrik, hvorefter de færdige elementer transporteres til en byggeplads, hvor de samles til den ønskede bygning.

De første elementbyggerier opførtes i Danmark i begyndelsen af 1950-erne, og derefter tog udviklingen fart. Takket være en kraftig udbygning af produktionsapparatet og udvikling af teknikken i montagen lykkedes det at flerdoble den danske byggesektors produktion over en tyveårig periode. Set på verdensplan har den danske betonelementindustri fra starten haft en førende position i den tekniske udvikling

Det var især indenfor boligbyggeriet, at betonelementerne fik deres gennembrud som byggesystem, og ved opførelsen af storstilede boligprojekter i løbet af 1960-erne bidrog elementbyggeriet til at afhjælpe en alvorlig boligmangel.

Hvad er et betonelement?

De fleste vil umiddelbart definere et betonelement som en konstruktionsdel af beton, der er støbt ét sted, og som permanent indgår i en bygning eller konstruktion et andet sted.

Denne definition er imidlertid så bred, at den let kommer til at omfatte andre produkter end betonelementer.

For eksempel er betonvarer som fliser, belægningssten, rør, sveller og fundamentsblokke ikke betonelementer. Skelnen mellem, hvad der er betonelementer, og hvad der er betonvarer, er i høj grad historisk betinget og støttes op af standardiseringssystemet, produktionssystemerne og strukturen i branchen. Betonvarer produceres sædvanligvis som lagervarer; medens betonelementer designes og dimensioneres målrettet det aktuelle byggeprojekt.

Ofte er betonelementer blødstøbt af beton med en vis bearbejdelighed, mens betonvarer er støbt med jordfugtig beton. Denne skelnen er imidlertid ikke skarp, da der er betonelementer, der støbes med jordfugtig beton (fx huldæk) og fx nogle fliser og rør blødstøbes.

Indenfor anlægsområdet anvendes ofte konstruktionsdele, der støbes et sted og flyttes til deres endelige position. Fx blev stort set alle konstruktionsdele på Øresundsbroen støbt på land i Malmø eller Cadiz i Spanien og sejlet og løftet ud på plads i - og over - Øresund. Disse konstruktionsdele har produktionsteknisk stor lighed med in-situ konstruktioner, men vil normalt ikke blive betegnet som betonelementer.

I nærværende artikel bruges begrebet "betonelementer" om konstruktionsdele til huse (boliger, kontorbygninger og erhvervsbyggeri), der produceres på en stationær fabrik og transporteres til byggepladsen, hvor de samles.

Der findes dog også egentlige harmoniserede standarder for elementer til broer og tunneler, henholdsvis DS/EN 15050 - Elementer til brokonstruktioner, og DS/EN 14844 - Kasseformede gennemløb.

Erhvervsbyggeriet fulgte hurtigt efter, og allerede i 1950-erne var der udviklet flere elementsystemer til både haller og kontorbyggerier.

I begyndelsen af 1970-erne skete der en kraftig ændring i udformningen af boligområderne og selve boligerne. Ændringerne kom som en følge af megen kritik af den byplanmæssige og arkitektoniske udformning i de mange store boligbyggerier af betonelementer.

Konsekvensen af denne kritik blev, at boligområderne herefter ofte blev udført som lave, tætte bybebyggelser og arkitekturen blev mere udtryksfuld og varieret. Det var en kraftig udfordring for elementproducenterne, som måtte omstille det industrielle produktionsapparat til større fleksibilitet og kortere serier for at blive i stand til at løse de meget individuelle og varierede byggeopgaver.

12.2.2 Fleksibilitet

Konstruktionsdele som fundamenter, vægge, facader, søjler, dragere, etageadskillelser og tagkonstruktioner er de hovedbestanddele i en bygningskonstruktion, som betonelementudviklingen naturligt har koncentreret sig omkring.

Det kan øge forståelsen af forskelligheden af krav til betonelementerne ved at skelne mellem de konstruktionselementer, der er skjult inde i bygningen, og de konstruktions-elementer, som er synlige som en del af bygningens facadeudtryk.

Betonelementer er ofte dele af standardsystemer, der er videreudviklet gennem mange år. Udviklingen har typisk bestået i ændring af (fx længere) spændvidder og (fx mindre) armeringsgrad, mens grundformen ikke er afgørende forandret.

Der er udviklet byggesystemer med betonelementer, som er særligt velegnede til erhvervsbyggeri. Ønskerne fra erhvervene er typisk store, frie spændvidder i produktions- og lagerhaller. I kontorhuse kan der med bærende facadeelementer og fritspændende dækelementer skabes arealer, hvor konstruktionerne ikke giver bindinger i kontorindretningen.

I boligbyggeriet er der en tendens til at gå væk fra de tidligere meget anvendte bærende tværskillevægge, som fastlåser boligernes størrelse. Der anvendes i højere grad systemer, som er en kombination af bærende vægge og søjle/dragersystemer.

12.2.3 Formbarhed

Betonens evne til at kunne udstøbes i en form med vilkårlig geometri giver mange muligheder, som medfører et stort spillerum for arkitekturen. Omvendt giver mange ens elementer et rationelt og billigere formarbejde.

Betonelementindustrien har alligevel forstået at leve op til arkitekternes krav om avancerede formløsninger, såvel i overfladegeometri (fx krumme overflader), overfladeprofilering som i formstørrelse.

Som eksempel kan nævnes sandwichfacade-elementet, der efter 1980 har gennemgået en eksplosiv udvikling. Det anvendes nu i byggerier af høj arkitektonisk værdi. Det kan blandt andet aflæses i en lang række arkitekturpriser.

12.2.4 Overflader

Indvendige overflader på væg- og dækelementer kan leveres klar til malebehandling eller tapetopsætning. Mange elementsystemer til erhvervshaller har overflader, som kan stå uden malebehandling. Indvendige overflader på facadeelementvægge er oftest den opadvendte side i formen, og de leveres med glattet eller rullet overflade. En rullet overflade danner en særdeles god bund for malebehandling.

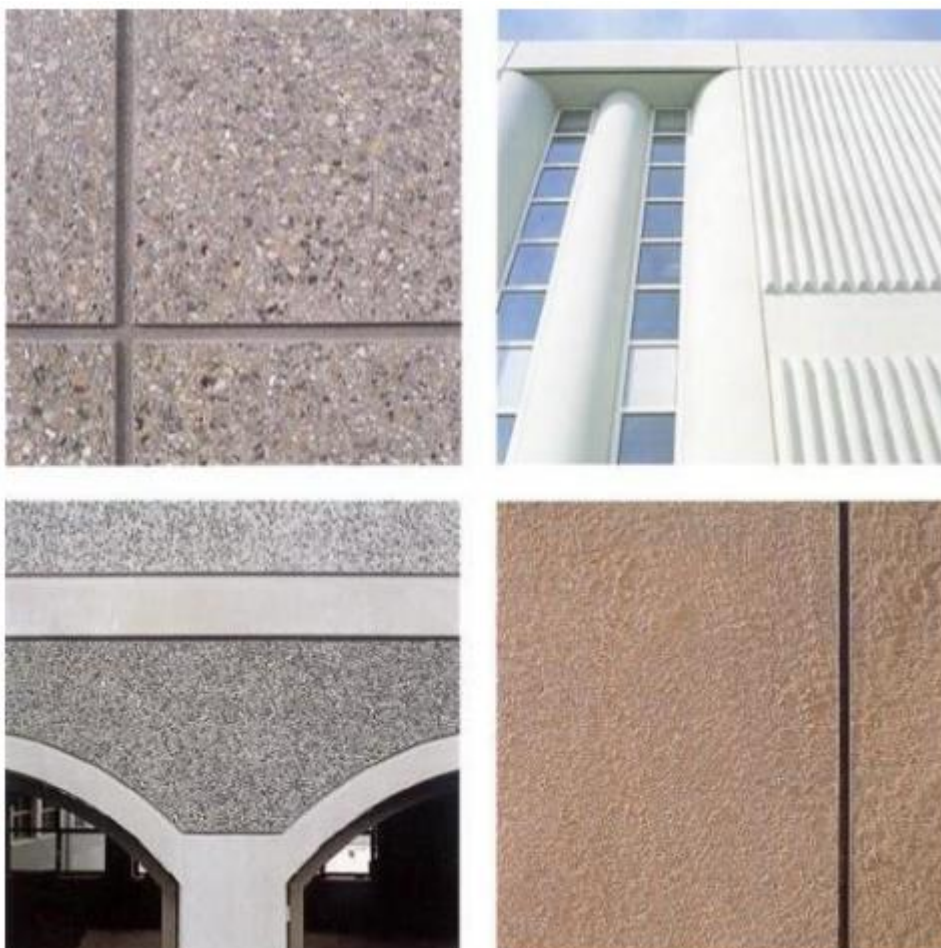
Facadeoverfladen, der som regel er formsiden på et betonelement, kan udføres efter arkitektens ønske. Det er ikke blot støbeformens overflade, men også tilslagsmaterialet i facadepladen og efterbearbejdningen, som kan varieres.

Efterbehandlingen bestemmer, hvordan tilslagsmaterialet ses i overfladen.

Elementets overflade kan også gives en let afsyring. Det blotlægger de små sten (sandkorn) i overfladen og anvendes især, hvor profileringen i overfladen er det egentlige arkitektoniske udtryk.

De større sten i overfladen kan også frilægges. Der anvendes en speciel retarderende væske (fx en sukkeropløsning), som smøres i formen inden støbningen, og som gør det muligt at frilægge tilslagsmaterialet ved at spule overfladen, efter at elementet er afformet. Dette giver desuden en vejrbestandig overflade.

Af andre eksempler kan nævnes slibning. Elementet slibes med slibemaskine, således at overfladen står som terrazzo.



Figur 2. Betonelementers overfalde kan fremtræde meget forskelligt efter arkitektens ønske.

Herudover kan man indstøbe teglsten eller andre former for uglaserede eller glaserede klinker. Der kan anvendes teglstensskaller, som lægges i en gummimatrice, der styrer det ønskede forbandt. Hvis der anvendes en god kvalitet klinker, opnås en meget vejrbestandig overflade. Også indenfor denne type er der meget store variationsmuligheder i stentyper, forbandt og kombinationer med betonbånd eller andre materialer.

Endvidere kan betonens farve varieres. Ud over nuancer af grå og hvid farve fra selve cementen, kan der tilsættes farvestoffer til betonblandingen, således at overfladen kan få en række forskellige farver – fx sort, grøn eller rød.

12.2.5 Kontrolleret kvalitet

De fleste typer betonelementer produceres i henhold til harmoniserede produktstandarder. Det betyder, at elementerne skal CE-mærkes, og at produktionen overvåges af et akkrediteret certificeringsorgan. Samtidig skal Bygningsreglementet overholdes, og heri kræves opfyldelse af betonelementernes krav i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA.

Herved sikres en høj kvalitet af betonelementerne og en sikring af den krævede holdbarhed. Ifølge de ovennævnte standarder opnås en levetid på 50 år ved opfyldelse af disse standarder, og hvis der ønskes en længere levetid, skal der stilles supplerende krav, fx i form af øgede dæklag eller valg af en tættere beton.

12.2.6 Betonens egenskaber

Materialet beton har en række egenskaber, der gør det til et meget fordelagtigt materiale at anvende til konstruktioner, herunder til betonelementer.

En række af betons positive egenskaber er omtalt nedenfor.

Holdbarhed

Beton har en stor styrke og stivhed. Det betyder, at betonelementer kan optage uforudsete påvirkninger, eksempelvis lokale overbelastninger eller stødkræfter - uden at skades.

Styrken gør samtidig betonelementerne robuste overfor dagligt slid. Tilfældige slag og andre påvirkninger vil i de fleste tilfælde ikke efterlade mærkbare spor i overfladen.

Til udendørs konstruktioner er beton velegnet, fordi det normalt ikke er nødvendigt at sørge for særlig beskyttelse af konstruktionerne mod vejrliget. Blot kræves det, at betonelementer til udendørs anvendelse designes i overensstemmelse med god projekteringskik, og at der tages hensyn til de relevante eksponeringsklasser med tilhørende holdbarhedskrav. Disse krav er selvfølgelig de samme for betonelementer som for in-situ beton.

God projekteringskik er i denne forbindelse efterlevelse af nogle enkle regler, eksempelvis vedrørende valg af betontype, placering af armering (dæklag) og indstøbningsdele, bortledning af overfladevand (fx Vis-Vand-Væk), og hensyn til temperaturbevægelser. I Statens Bygge Forskningsinstituts publikation "Beton 5, Betonaltaners konstruktive udformning" findes en instruktiv samling af en række af de nævnte leveregler.

Vedligehold

Veludførte betonelementer kræver kun en beskeden vedligeholdssindsats. Vedligehold af rigtigt udformede overflader kan oftest begrænses til simpel rengøring med nogle års mellemrum, afhængigt af miljø og interesse for byggeriets fremtræden. Hvis overfladen er udformet (forkert), så der opsamles fugt lokalt, kan overfladen blive skæmmet af algevækst og opsamling af snavs

Alle byggematerialer i klimaskærmen – og dermed også beton - bør efterses med jævne mellemrum, for eksempel hvert tredje eller femte år. Denne beskedne vedligeholdelsesindsats giver sig udslag i bygherrens driftsregnskab i form af tilsvarende mindre udgifter.

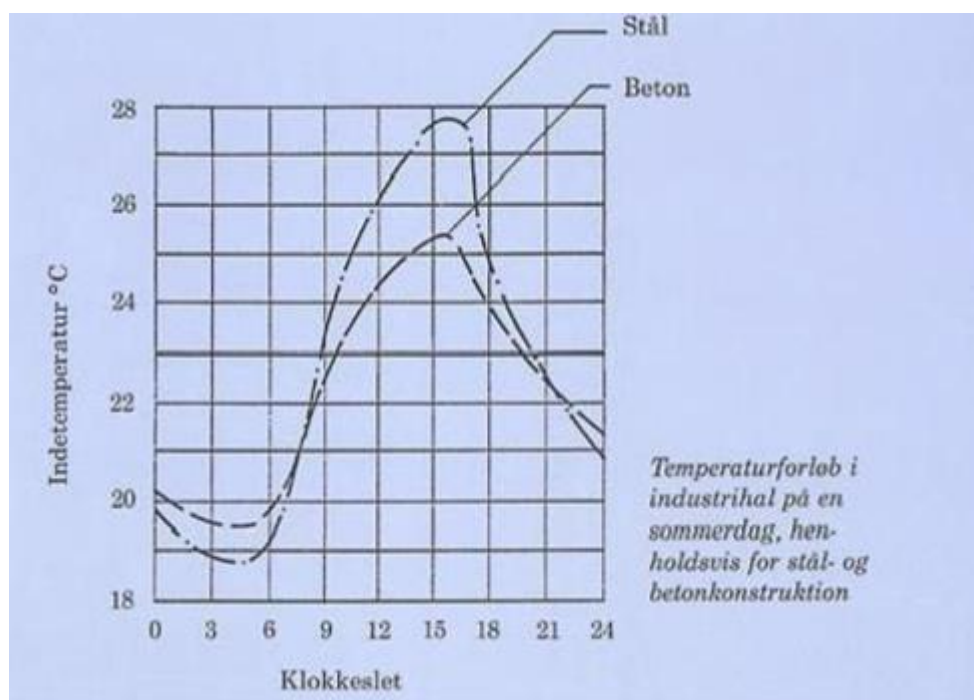
Komfort

En tung konstruktion sikrer ofte bedre komfort i en bygning end en let konstruktion. Dette kaldes ofte "katedral-effekten", fordi tunge bygninger som katedraler er behageligt kølige om sommeren og ikke for kolde om vinteren. Beton er et tungt konstruktionsmateriale – egnet også til katedraler.

Varmeakkumulering

Betonkonstruktioner har gode varmeakkumulerende egenskaber. Det betyder eksempelvis, at man efter udluftning på en kold dag hurtigt genvinder en behagelig stuetemperatur, fordi betonkonstruktionerne afgiver en del af den oplagrede varme til rumluften. På grund af varmelagringen opnås også en jævn og dermed behagelig indetemperatur i løbet af dagen.

Med udgangspunkt i anbefalede komforttemperaturer kan det blive nødvendigt at etablere ventilations/køleanlæg i bygninger med lette konstruktioner, mens bygninger med råhus af betonelementer har så gode temperaturforhold, at køling ofte er unødvendig.



Figur 3. Et tungt hus – et betonhus – har et mere jævnt temperaturforløb over døgnet end et let hus.

Bedre lydisolatation

Betonkonstruktioner isolerer langt bedre mod støj end lette konstruktioner. Gener fra støjklider udefra eller i naborum kan i huse af betonelementer reduceres til et minimum, når detaljerne udformes omhyggeligt.

Desuden er det muligt at indbygge lydabsorberende materialer i betonelementers overflader, så der også opnås fine akustikforhold i de enkelte rum.

Stivhed og stabilitet

Med betonelementer opnås et meget stift råhus. Det betyder blandt andet, at selv kraftige vindstød ikke giver fornemmelse af bevægelser i konstruktionen.

Tilsvarende undgår man, at generende rystelser fra gående og andre støjklider forplanter sig gennem etageadskillelserne.

Bedre indemiljø

Beton er i sig selv et neutralt naturmateriale.

Ved også at vælge miljømæssigt neutrale materialer ved indretningen af et beton-elementbyggeri tilgodeser bygherren på afgørende måde velbefindendet for alle, der opholder sig i bygningen.

Et praktisk eksempel på dette ses i byggerier for allergikere. Efter nøje planlægning er disse byggerier opført med betonelementer.

Lav brandrisiko

Betonkonstruktioner har gode brandtekniske egenskaber. I sig selv er konstruktionerne ubrandbare, de har stor brandmodstandsevne, og de virker effektivt brandadskillende.

I almindelighed kan risikoen for mindre brandes opståen ikke undgås; men det har stor værdi, at branden hindres i at brede sig til større områder. Endvidere er det afgørende, at hovedkonstruktionen kan modstå branden. Ved at anvende betonelementer er det som oftest muligt at opnå den ønskede brandsikkerhed uden yderligere forholdsregler som særlig beklædning/inddækning, brandbeskyttende maling og sprinkleranlæg.

12.2.7 Økonomiske fordele

Konkurrenceevne

Betonelementbyggeriets rationelle og industrialiserede produktion giver sig udslag i lavere pris end for tilsvarende bygninger udført som traditionelt håndværk – fx et muret byggeri.

Elementfremstillingen på fabrikkerne er rationel og industrialiseret. Montagen af elementerne er en enkel proces, hvilket betyder korte montagetider for råhuse af betonelementer.

Den korte byggetid medfører lavere byggeomkostninger og hurtigere ibrugtagning for bygherren.

Desuden kan betonelementer året rundt fremstilles under velkontrollerede betingelser på fabrikkerne, og den hurtige montage på byggepladsen betyder, at råhuset hurtigt kan lukkes for vejrliget, så de videre arbejder med indretning og installationer kan foregå under beskyttede forhold.

Herved spares de vejrligs- og vinterforanstaltninger, der normalt ikke er medregnet i tilbud for danske byggeopgaver.

12.2.8 Eksempler på byggesystemet

12.2.8.1 Byggesystemernes delkomponenter

På det danske byggemarked er udbuddet af betonelementer bredt. Komponenterne er samtidig fleksible overfor sammenbygning i forskellige kombinationer. Derfor er det i de fleste tilfælde let at finde en velegnet elementløsning til en given byggeopgave.

De almindeligste løsnings grundform er i de efterfølgende afsnit præsenteret som selvstændige byggesystemer. I praksis kan det til mere komplekse byggeopgaver være aktuelt at kombinere to eller flere af byggesystemerne i en sammenhængende løsning.

I beskrivelsen af de enkelte løsninger refereres til en række af de almindeligste elementtyper på markedet.

12.2.8.2 Boligbyggeri

Tværvægsløsningen er et meget anvendt byggesystem i boligbyggeri. I denne løsning udføres lejlighedsskel og andre primære vægge, der står på tværs af facaden, som betonelementvægge. Disse vægge bærer etageadskillelserne. Bygningens afstivning sikres typisk af langsgående vægge ved trappeskaktene.

Øvrige skillevægge udføres normalt som lette vægge.

Etageadskillelserne udføres af huldæksel-elementer, der spænder på langs ad bygningen mellem de bærende vægge. Typiske spændvidder er 3-8 m.

Boligbyggerierne er ofte forsynet med hel eller delvis kælder med plads til sikringsrum, teknikrum og opbevaringsrum. Disse kælderkonstruktioner kan være af betonelementer eller pladsstøbt beton. Løsningen med pladsstøbt beton vælges især, hvor der er tale om mindre kældre.

Tværvægsløsningens store anvendelse i både tæt/lavt byggeri og i etageejendomme skyldes blandt andet, at flere af betonelementernes egenskaber udnyttes samtidig:

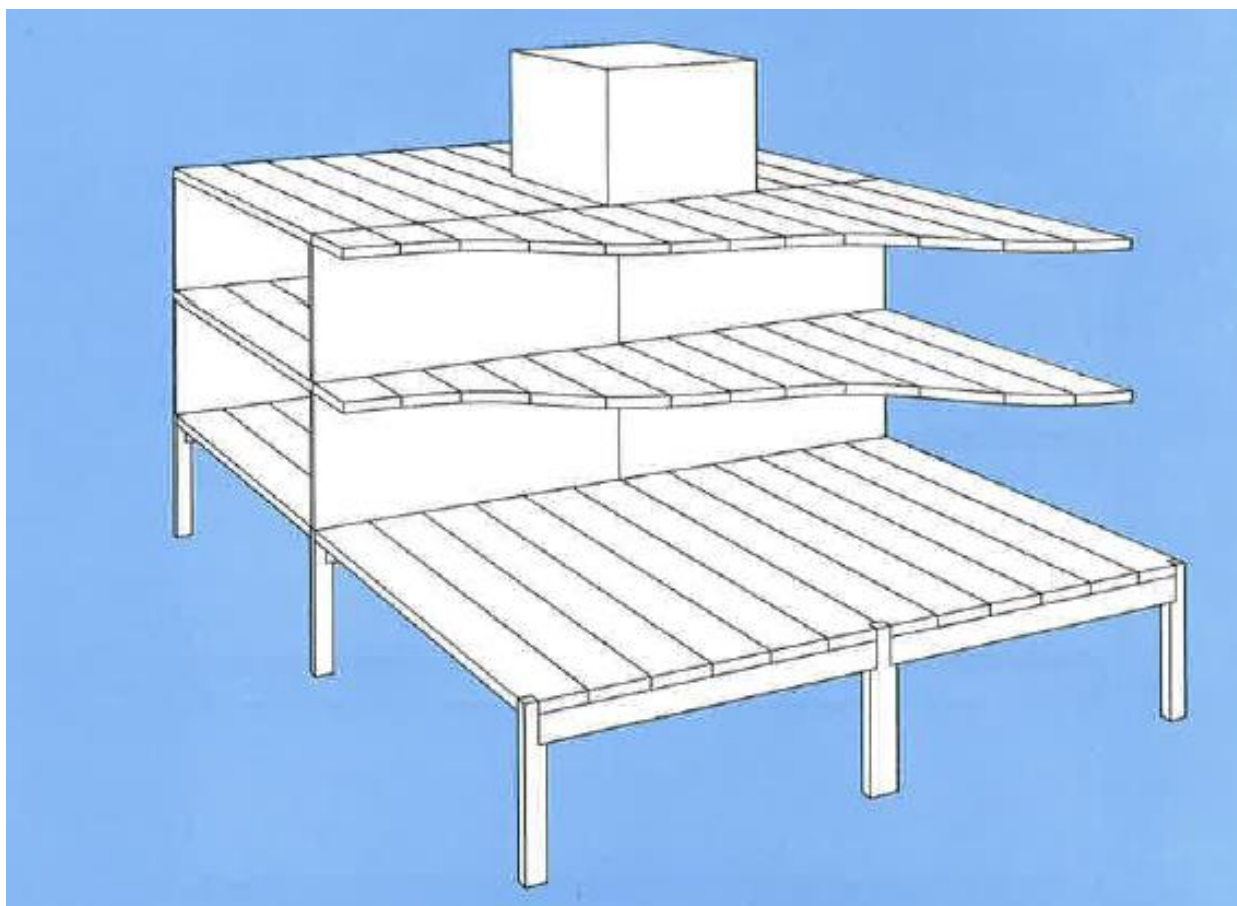
- God stabilitet og bæreevne
- God lydisolierende virkning
- God brandadskillende virkning.

Desuden er det væsentligt, at betonelementer kan leveres klar til malebehandling, både for vægge og lofter.

Med tværvægsløsningen kan der opnås meget stor frihed i udførelsen af facaderne, fordi facaderne ikke indgår i det bærende system. Herved bliver det muligt at skabe spændende facadebilleder.

Andre muligheder opnås ved at anvende etagehøje betonelementer i facaden. Her kan enten være tale om sandwichfacadeelementer eller om bagvægselementer, der skalmures eller beklædes med andre materialer. Disse betonelementer kan samtidig fungere som bæring for tagkonstruktionen.

De rige variationsmuligheder i tværvægsløsningen er gennem mange år blevet udnyttet til at skabe boligbyggerier af høj arkitektonisk standard. Dette gælder ikke alene facaderne, men også mulighederne for at skabe spændende og varierende lejlighedstyper ved kreativ anvendelse af de basalt set meget enkle principper i tværvægsbyggeri.



Figur 4. Tværvægsløsning over fleksibel planløsning i nedre etage – fx til butikker i købstadsområder.

I boligområder med købstadspræg kan det være ønskeligt med store, frie arealer i stueetagen til for eksempel butikker. Her kan en egnet løsning være et søjle/bjælkesystem i stueetagen og en tværvægsløsning i de højereliggende etager. De bærende tværvægge i etagerne fungerer da som etagehøje bjælker, der spænder mellem stueetagens søjler. Bygningen afstives på langs og på tværs af vægelementer omkring trappeskakte.

12.2.8.3 Administrationsbyggeri

Til kontorbyggerier eller til kombinerede administrations- og industribyggerier anvendes ofte en af følgende grundformer:

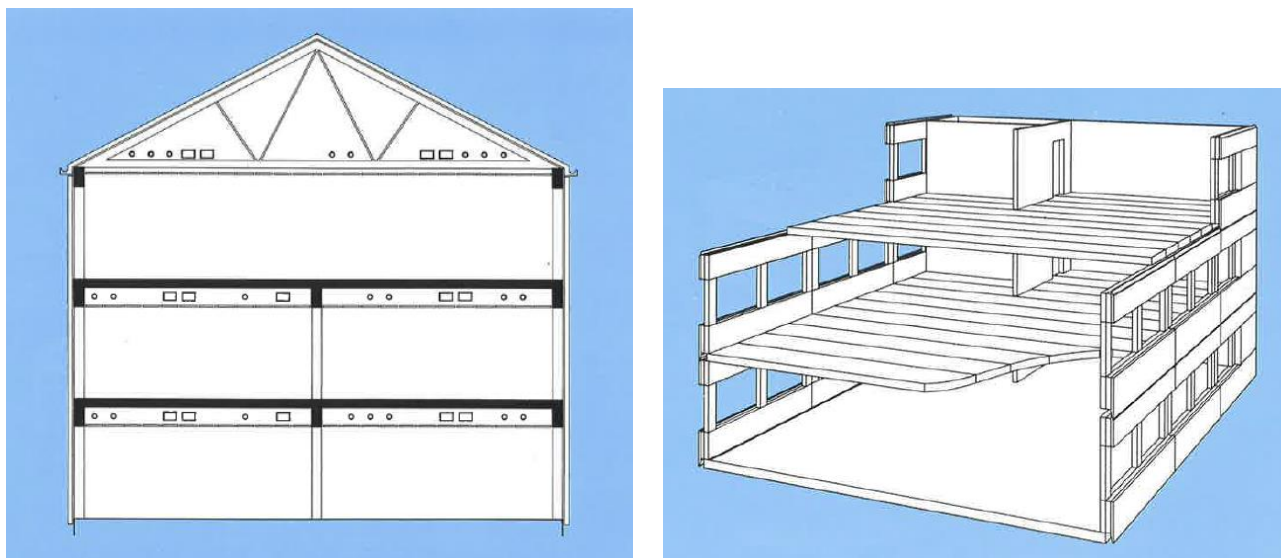
- Skivebygninger
- Søjle/bjælkebygninger
- Kombinationsbygninger.

Alle løsningerne kan udføres med etageadskillelser af enten huldækselementer eller ribbeplader. Ribbepladerne kommer især til anvendelse ved store spændvidder. Her er etageadskillelsernes undersideform ofte uden betydning, enten fordi der under alle omstændigheder kræves nedhængte lofter i kontorlokaler og repræsentative rum, eller for at skjule ventilationskanaler og andre installationsfremføringer, eller fordi der ikke kræves plane lofter i produktionslokaler.

I administrationsbyggerier kræves normalt stor fleksibilitet med hensyn til indretning og ombygning. Dette opnås med de nævnte grundformer ved at udføre den nødvendige grundkonstruktion af betonelementer, hvorefter etagerne indrettes med lette skillevægge, der kan flyttes uden større vanskelighed.

Skivebygninger

Med skiveløsningen opnås et meget enkelt konstruktivt system, der umiddelbart giver stor frihed ved indretningen af de enkelte etager.



Figur 5. Skivebygning med etage-høje sandwichelementer i facaderne, og etageadskillelserne er huldækselementer, der spænder op til 11-12 m fra facade til facade. De langsgående betonelementer ved trappeskakten er i dette tilfælde længere end trappeskakten er bred for at skabe fornøden sammenhæng i det afstivende system.

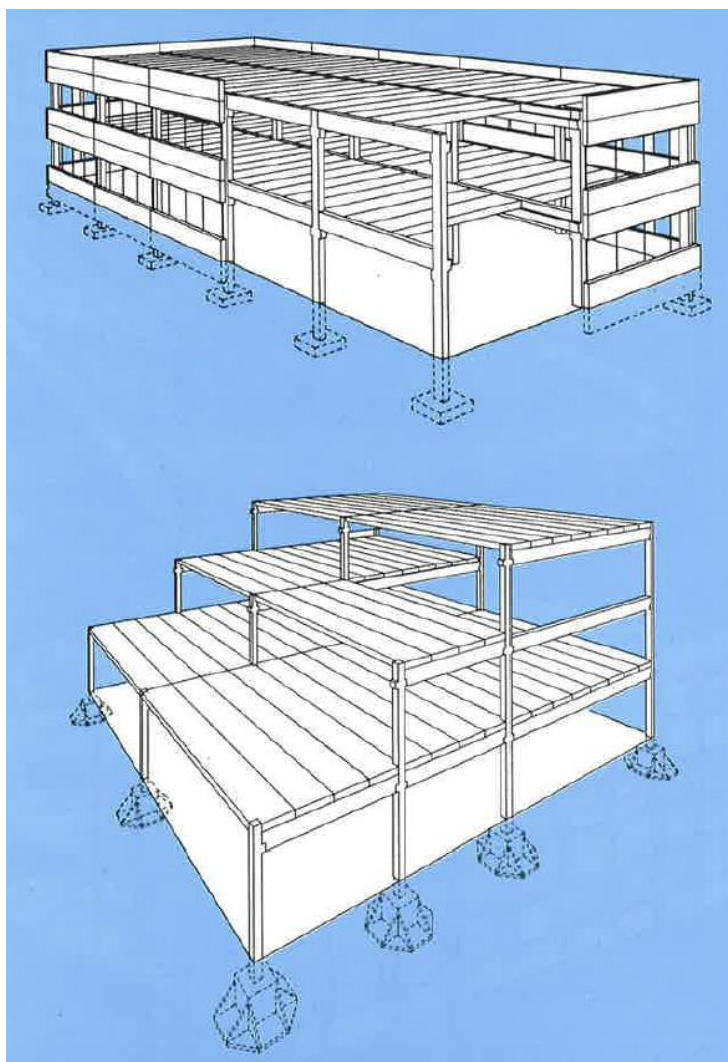
Facader og gavle udføres af sandwichelementer, der fungerer både som bærende og afstivende konstruktionsdele og som en færdig klimaskærm - klar til isætning af

vinduer. Alternativt anvendes bagvægselementer, der skalmures eller forsynes med anden beklædning.

Ved trappe- og elevatorskakte anbringes betonelementvægge for at bære etageadskillelser og trapper.

Søjle/bjælkebygninger

Søjle/bjælkeløsninger giver mulighed for store, åbne gulvarealer, kun afbrudt af søjlerne i bærelinjerne. Byggetypen er derfor meget fleksibel med hensyn til indretningen.



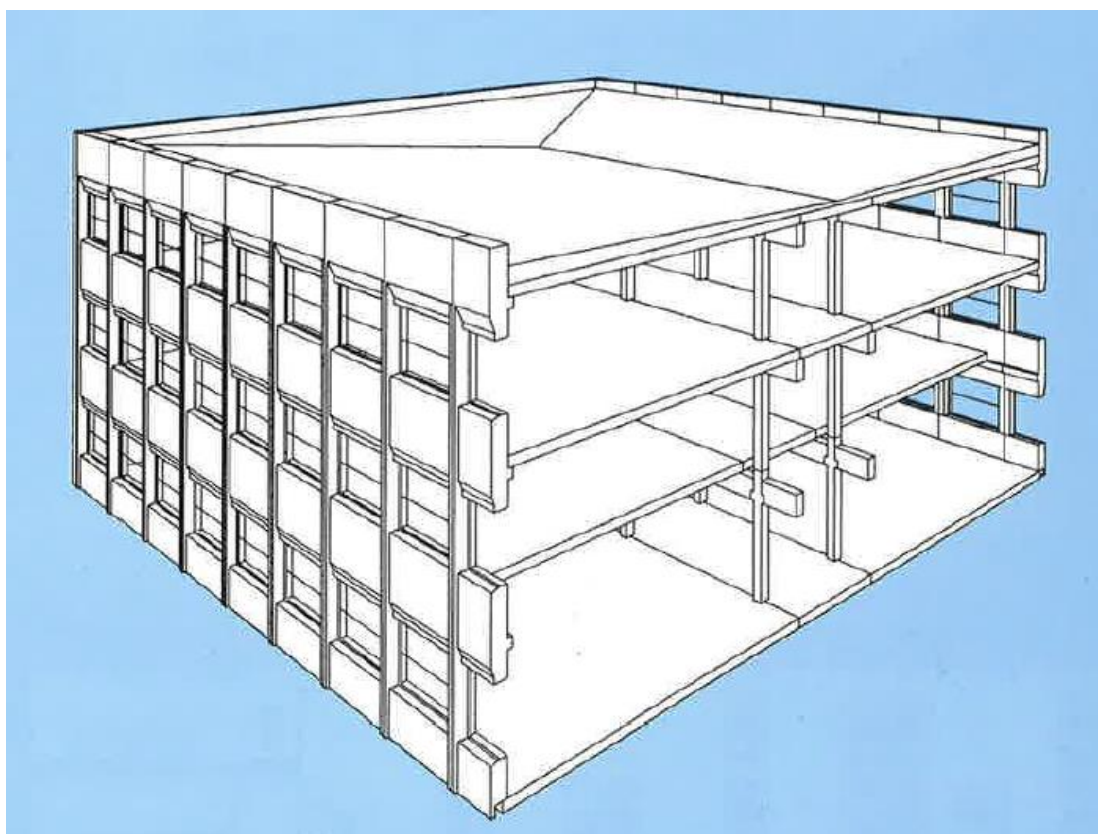
Figur 6. Søjle-/bjælkeløsninger. I den øverste løsning er dækelementerne oplagt på konsolbjælker i facaden og midt i bygningen. Afstanden mellem søjler i samme bærelinje bliver typisk 6-7 m, og med huldækselementer kan spændvidden blive op til 11-12 m på tværs af bygningen. Større spændvidder kan opnås med ribbeplader. I den nederste løsning er dækelementerne op lagt på RB-bjælker i bærelinjerne. Bjælkerne hviler på søjler, der er indspændt i fundamentene. Anvendelse af RB-bjælker kræver sædvanligvis større etagehøjde end konsolbjælkerne.

Desuden giver løsningen mulighed for at opnå rigt varierede facadebilleder. Eksempelvis er frihed i facadens udformning af stor betydning, hvis der er butikker i stueetagen.

Bygningen stabiliseres sædvanligvis af vægelementer omkring trappe- og elevator-skakte, når der er mere end 2 etager.

Kombinationsbygninger

I kombinationsløsninger opbygges facader og gavle som i skiveløsningen, men samtidig etableres én eller flere bærelinjer med søjler og bjælker inde i bygningen.



Figur 7. Kombinationsbygning. Søjleafstande i bærelinjerne og spændvidder på tværs af bygningen svarer til hvad der opnås i den rene søjle/bjælkeløsning. Til mange erhvervsformål er kombinationsbygningen en konkurrencedygtig løsning med stor fleksibilitet ved indretningen af etagerne, og med mulighed for meget store husdybder.

12.2.8.4 Erhvervsbyggeri

Grundformerne er:

- Skivehaller
- Søjle/bjælkehaller
- Kombinationshaller.

Grundformen refererer til det overordnede konstruktive system. Det er almindeligt at etablere sekundære systemer indenfor hovedkonstruktionen, når forskellige arbejdsfunktioner under samme tag kræver forskellige lokaleformer.

Eksempelvis kan der til en produktionsvirksomhed med behov for nogen administration ofte med fordel etableres et såkaldt indskudt dæk i en del af bygningen. Adskilt fra produktions- og lagerområdet kan der så på enkel vis indrettes administrationslokaler i to etager. Ved indretningen af disse lokaler anvendes almindeligvis lette skillevægge.

Halbyggeriets afklarede form og gode økonomi gør byggetypen attraktiv til en lang række erhverveformål. I mange produktionsvirksomheder er det en særlig fordel, at det bliver muligt at etablere store ovenlysarealer i produktionsområdet, da dette erfaringsmæssigt giver et behageligt arbejdslys.

Skivehaller

Med den rene skiveløsning opnås det enklest tænkelige halbyggeri med mulighed for et fuldstændigt frit indre rum.

Facader og gavle er bygningshøje sandwichelementer. Indenfor det normale leveringsprogram kan hermed opnås en indvendig frihøjde på op til ca. 9 m. Større højder er dog mulige.

Taget opbygges i de fleste tilfælde af ribbetagplader, der spænder fra facade til facade med spændvidder på indtil ca. 35 m. I mange tilfælde kan der med fordel indskydes vaffelplader mellem ribbetagpladerne. Den størst mulige spændvidde reduceres i så fald til omkring 32 m. En del af vaffelpladerne kan uden videre erstattes af ovenlys.

For haller med mindre spændvidder kan andre tagkonstruktioner være aktuelle. Eksempelvis sædvanlige ribbeplader for spændvidder op til ca. 24 m, eller huldæks-elementer for spændvidder op til ca. 16 m. Med disse tagtyper er det nødvendigt at etablere fald på taget, hvor der ofte anvendes kileskåret tagisolering.

I skivehaller er muligheden for senere udvidelser i længderetningen gode, fordi gavlene let kan flyttes. Dog bør hallerne af hensyn til stabiliteten ikke gøres for lange.

Søjle/bjælkehaller

I den rene søjle/bjælkeløsning er søjlerne indspændt i fundamentene. Hermed kan facader og gavle udformes meget frit, da de ikke indgår i det bærende og afstivende system. Den frie facadeudformning betyder, at byggetypen også er velegnet til butikker eller lignende, idet alle facadepartier kan erstattes af udstillingsvinduer. Desuden er haltypen fleksibel overfor senere udvidelser, eventuelt ved udbygning til en flerskibshal.

I bærelinjerne opstilles søjlerne sædvanligvis med en indbyrdes afstand på 6-10 m. Indenfor det normale leveringsprogram fås søjler svarende til frie rumhøjder på op til ca. 12 m.

Til bæring af taget kan indlægges lige, rektangulære bjælker (RB-bjælker) i bærelinjerne. Taget udføres da normalt af ribbetagplader med spændvidder på op til ca. 35 m. En anden mulighed er at oplægge ribbeplader eller huldæks-elementer med fald fra en midterbjælke og ud til randbjælkerne. Med huldæks-elementer er denne

løsning mulig ved spændvidder på op til ca. 16 m, og med ribbeplader ved spændvidder på op til ca. 24 m.

Det kan også vælges at oplægge SIB-bjælker på tværs af hallen. Disse bjælker leveres med spændvidder på indtil ca. 35 m. På saddeltagsbjælker med I-formet tværsnit (SIB-bjælker) oplægges tagdækket, der for eksempel kan bestå af korrugerede stålplader.

Kombinationshaller

I kombinationsløsningen indgår facader og gavle i det bærende og afstivende system, og de indvendige søjlerækker optager kun lodret last. Også denne haltype giver mulighed for meget store, åbne halarealer, kun afbrudt af søjlerne i de indvendige bærelinjer.

Når fremtidige udvidelser i hallens sideretning påtænkes, bæres taget af søjler og bjælker ved den pågældende facade. Facader og gavle er bygningshøje sandwich-elementer. Søjlerne i de indvendige bærelinjer placeres som regel med en indbyrdes afstand på 8-12 m. Indenfor det normale leveringsprogram fås denne haltype med indvendig frihøjde på indtil 9 m. Større højder er dog mulige.

Taget opbygges af ribbeplader eller huldækselementer, der oplægges på facader og på bjælker i de indvendige bærelinjer. Spændvidder op til ca. 24 m med tag af ribbeplader, og op til ca. 16 m med tag af huldækselementer. Afvanding af taget sikres ved at oplægge tagpladerne med fald, eller ved anvendelse af kileskåret tagisolering.

12.2.9 Fremstillingsprocessen

Fremstilling af betonelementer omfatter følgende hovedpunkter:

- Tilrigning af form
- Armeringstildannelse
- Opspænding (ved strengbeton)
- Ilægning af armering og indstøbningsdele
- Støbning
- Hærdestyring
- Afforskalling
- Efterarbejder
- Lagring.

Arbejdsprocesserne varierer mellem de forskellige elementtyper.

Tilrigning af form

På elementfabrikker anvendes ofte vandrette forme, der er hævet fra gulvet for at lette arbejdet. En sådan form kaldes et formbord.

Der anvendes også lodrette forme, ofte kaldet batteriforme.

Vandrette forme anvendes blandt andet til indvendige vægelementer, facadebagvægge og sandwichfacader. Den vandrette form består af formbordet, hvorpå elementets kant

afgrænsninger monteres. Mellem kantafrænsningerne monteres udsparingskasser til døre, vinduer og andre krævede udsparinger.

Batteriforme anvendes til indvendige vægelementer og til facadebagvægge. Formene står lodret og består først og fremmest af de to formsider, hvoraf den ene kan lukkes helt op om et hængsel i bunden. Mellem de to formsider placeres formafgrænsning for elementets bund og endeflader, ligesom der kan placeres udsparingskasser til døre, vinduer og andre udsparinger.

Både til batteriforme og vandrette forme kan kantafrænsninger og udsparingskasser laves med forskellige profiler. Derved kan dannes de ønskede fugelåse langs elementrande, smig eller rundinger i vindueskarme, affasning af kanter og andre detaljer.

Specielt til sandwichfacadeelementer, hvor forpladen støbes vandret ned mod formbunden, placeres ofte særlige profiler eller profilplader i bunden af formen. Dermed kan den udvendige side af elementet udformes svarende til de arkitektoniske ønsker.

Armeringstildannelse

Armering skæres og bukkes på et armeringsværksted, så der ikke senere skal foregå nogen tildannelse ved formen. De fleste betonelementfabrikker har eget armeringsværksted, men får også leveret færdigbearbejdet armering fra et eksternt armeringsværksted.

Opspænding

Fremstilling af forspændte betonelementer (tidligere ofte kaldet strengbetonelementer) sker på spændborde. Her trækkes linerne ud mellem spændbordets to ender, idet linerne trækkes gennem alle de lukkede bøjler, der forinden er lagt ud på spændbordet.

Efter opspændingen justeres bøjlerne på plads langs linerne, og der suppleres med eventuel særlig armering ved vederlag eller huller.

Spændbordene er almindeligvis 50-100 m lange, så der samtidig kan fremstilles en lang stribe dækelementer eller bjælkeelementer på spændbordet.

Ilægning af armering og indstøbningsdele

Den færdigtildannede armering fra armeringsværkstedet monteres i formen. Til at sikre det korrekte dæklag mellem en formside og de yderste armeringsstænger anvendes afstandsklodser, der effektivt sikrer, at armeringen ligger fast under den senere støbning.

De forskellige armeringsdele i formen bindes sammen i krydsningspunkterne mellem armeringsstængerne. Svejsning kan også anvendes, men kræver særlig opmærksomhed og kontrol.

Indstøbningsdele til el-installationer, løftebøjler og andre beslag fastgøres til formsiderne eller armeringen.

Støbning

Støbningen foregår sædvanligvis ved at betonen fyldes i formen fra et internt transportsystem, hvorefter betonen vibreres.

Vibreringen sikrer, at betonen bliver tæt og fylder formen helt ud omkring alle armeringsstænger og indstøbningsdele.

Batteriforme og en del formborde har indbyggede vibratorer, der transmitterer svingningerne til betonen via støbeformen.

Alternativt – eller som supplement - anvendes stavvibratorer, der stikkes ned i den friske beton med passende mellemrum.

Efter vibreringen får betonen gerne lov at hvile lidt, før overfladen rettes endeligt af. Afhængigt af de projekterendes overfladekrav glittes eller filtses op siden i vandret støbte vægelementer.

Der anvendes oftest selvkompakterende betoner (SCC – Self Compacting Concrete), der er i stand til at fylde formen ud uden vibration. Faktisk må SCC-beton slet ikke vibreres, da den så separerer. Brug af SCC-beton skaber et langt bedre arbejdsmiljø i støbehallen, fordi støj og vibration undgås.

Sandwichfacadeelementer støbes i to omgange. Først støbes forpladen i bunden af formen med en beton beregnet til at modstå vejrliget. Når denne beton er vibreret, lægges isolering oven på forpladebetonen, hvorefter bagvæggens armering placeres oven på isoleringen. For at sikre forpladens fastholdelse i det færdige element er der særlige, rustfrie stålforbindelser mellem forpladens og bagvæggens armering.

Endelig støbes bagvæggen som det øverste lag i formen. Denne støbning svarer til støbningen af et almindeligt vandret vægelement.

Fremstillingen af ekstruderede, forspændte huldæk kræver en særlig støbeprocess.

De fremstilles i lange baner på et spændbord, hvor der som ved anden strengbetonfabrikation er spændt liner ud.

Hen over spændbordet føres nu en maskine, der presser (extruderer) en meget vandfattig og dermed formfast (jordfugtig) beton ud på spændbordet. Maskinen former betonen direkte i den færdige tværsnitsform, og den friske beton er så fast og stabil, at der ikke kræves formsider til at holde faconen.

Efter ekstruderingen skæres banen op svarende til de ønskede elementlængder. Desuden skæres der huller i den friske beton svarende til de krævede udsparringer.

Forspændte huldæk fremstilles også i forme monteret på spændbord med gennemgående liner.

Hærdestyring

Efter støbningen beskyttes elementernes opsider mod udtørring. Enten ved at tildække betonen med plast eller ved at påføre en curingmembran.

Curingmembranen sprøjtes med en forstøver ud over betonen, hvor den danner en hinde, der på samme måde som en plastoverdækning, hindrer vandets fordamning fra betonoverfladen.

Ofte er der indbygget varmelegemer i formene. Dermed kan betonens temperatur styres, og der kan opnås en hurtigere hærdning af betonen. Det skyldes, at hærdeprocessen i betonen forløber hurtigere med stigende temperatur. Hvis betonen efter hærdningen er varm, skal der dog udvises forsigtighed ved for hurtig afkøling på lagerpladsen, da der ellers kan opstå revner i betonen.

Afformning

Når betonen har opnået en passende modenhed (og dermed styrke), løsnes formene, og elementet løftes op af formen.

Efter støbning af de forspændte betonelementer – og når styrken er tilstrækkelig – skæres linerne over mellem de forskellige elementer på samme spændbord.

Til løft af elementet under afforskallingen og under den senere transport og montage kan elementet forsynes med løfteanordninger. Det kan være:

- Dornhuller
- Inserts
- Løftebolte
- Løftebøjler
- Specialankre.

De fornødne løfteanordninger aftales på planlægningsstadiet mellem elementleverandør og montageentreprenør. De fleste leverandører har en fast standard.

Anvendelsen af de forskellige løfteanordninger er nøjere beskrevet i [2].



Figur 8. Forspændte huldæk skæres i længde og løftes fra spænddækket.

Efterarbejder

Når afforskallingen er overstået følger eventuelle efterarbejder, specielt for facadeelementer.

Det kan for eksempel dreje sig om frilægning ved spuling af overfladen. Metoden forudsætter, at forbunden har været påført et retarderende middel inden støbning. I forpladens yderste lag (i et par millimeters dybde), hærdner cementpastaen derfor ikke, og det er dermed muligt at spule cementpastaen bort, så de stenene i forpladens beton træder frem i en karakteristisk og robust overflade.

Tilsvarende kan man afsyre glatte betonoverflader for at sikre et jævnt og ensartet overfladeudseende. Overfladen kan også slibes til et terrazzolignende udtryk.

Lagring

De færdige elementer lagres normalt udendørs på fabrikkens lagerplads, indtil de videresendes til byggepladsen.

Lagringen betyder, at elementerne før transport vinder yderligere styrke, så risikoen for transportskader formindskes.

Væg- og facadeelementer oplagres sædvanligvis i specielle lagerreoler, hvorfra de oplagrede elementer kan hentes frem i vilkårlig rækkefølge.

Søjler, bjælker og dækelementer oplagres vandret med understøtningerne placeret, så der ikke opstår væsentlige kræfter i elementet på grund af egenvægten. Bortset fra meget store elementer lagres man ofte i flere lag for at spare lagerplads. Denne lagerform kræver større planlægning af leveringsrækkefølgen.

Kvalitetssikring

Kravene til betonelementer leveret til en byggeplads i Danmark er overordnet, at:

- Elementer, for hvilke der findes en harmoniseret standard, skal leveres med CE-mærke¹
- Det skal i henhold til Bygningsreglementet dokumenteres, at betonen og produktionen overholder kravene i DS/EN 206 og DS/EN 206 DK NA
- Det skal i henhold til Bygningsreglementet dokumenteres, at de gældende normer med nationale tillæg opfyldes:
 - Eurocode 0 – Projekteringsgrundlag
 - Eurocode 1 – Last på bygværker
 - Eurocode 2 – Betonkonstruktioner.

12.2.10 Produktionsapparatet

Opnåelse af CE-mærkning forudsætter, at virksomheden råder over et produktionsapparat, der med rette kan antages at kunne levere produkter af ensartet og høj kvalitet.

Produktionsapparatet regnes i denne forbindelse at omfatte såvel personalemæssige som fysiske ressourcer.

Det kræves, at de enkelte dele af produktionsprocessen varetages/overvåges af funktionsspecialister. Dette gælder lige fra produktionsplanlægning til afsluttende håndtering på lagerpladsen.

Desuden stilles en række krav til kontrol, oplagring og behandling af delmaterialer til betonfremstillingen samt til betonblandeanlægget, således at al beton kan fremstilles på sikker måde efter den aktuelle blanderecept.

Tilsvarende stilles krav til produktionsanlæggets muligheder for et hensigtsmæssigt værksted og lager, for armering og indstøbningsdele, formmateriel, færdiglager og andre funktioner.

12.2.11 Intern kontrol

Den interne kontrol ved produktion af CE-mærkede betonelementer er i udstrakt grad baseret på statistiske metoder. Der foretages en opdeling i kontrolafsnit, hvorfra der udtages en stikprøve (bestående af et antal enkeltprøver) til kontrolmåling. Resultatet

¹ Der findes harmoniserede standarder for stort set alle de gængse betonelementprodukter, dog med undtagelse af altanelementer. Flere producenter vælger at henregne altanelementer til en beslægtet produktstandard – andre undlader at CE-mærke altanplader.

af kontrolmålingerne benyttes efter foreskrevne regler til at afgøre om det pågældende kontrolafsnit er af acceptabel kvalitet.

Opdelingen i kontrolafsnit til den statistiske kontrol følger fabrikkens samlede produktionsplanlægning. Kontrolafsnit med reference til en enkelt byggeplads forekommer derfor normalt ikke.

Ved modtagelse af leverancer til fabrikken omfatter den interne kontrol en særlig modtagekontrol. Modtagekontrollen kan være baseret på egen bestemmelse af egenskaberne eller – ved certificerede varer – på underleverandørens certifikater. Modtagekontrol omfatter for eksempel armeringskvalitet og kvalitet af betonens delmaterialer: cement, tilsætningsstoffer, sand- og grusmaterialer.

I forbindelse med betonfremstillingen kontrolleres doseringen af delmaterialerne. Fra den friske betonblanding udtages prøver til yderligere kontrol af de væsentligste parametre i betonens egenskaber. Der støbes også prøveemner til senere kontrol af styrken.

I produktionshallen foretages kontrol af støbeklar form. Der kontrolleres især armeringsarrangement, herunder armeringstype, armeringsdimension, antal armeringsstænger og -bøjler, armeringens hovedmål samt meget vigtigt: dæklagene. I strengbetonelementer kontrolleres desuden forspændingskraften i linerne.

På færdige elementer kontrolleres at tolerancerne på elementets hovedmål er overholdt. Herunder foretages måling af elementets længde, bredde og højde, ligesom eventuel pilhøjde samt formskævhed og vinkelskævhed måles. Med en særlig dæklagsmåler kontrolleres, at dæklagskravene også er overholdt efter støbning. Endelig undersøges elementerne for synlige fejl, og det kontrolleres at elementernes mærkning er forskriftsmæssig.

Ekstra kontrolkrav fra de projekterende til den enkelte ordre bør undgås, da de vanskeliggør overholdelse af de omfattende, indarbejdede rutiner på fabrikkerne.

2.12.12 Ekstern kontrol

Certificeringsorganet følger virksomhedens drift via kontrolbesøg. Ved kontrolbesøgene foretages en gennemgang af virksomhedens kontrolfunktion. Der foretages stikprøvevis gennemgang af måleresultater og disses bearbejdning.

Desuden kan bygherrer, projekterende og udførende besøge betonelement-fabrikken. Det kan anbefales, at aflægge besøg på fabrikken ved fremstillingen af de første elementer til en konkret byggesag. Bygherre og projekterende kan derved konstatere om elementerne indfrier alle forventninger – fx til overfladekvalitet - eller om der skal aftales en ændring af specifikationerne før en større serie produceres.

2.12.13 Transport fra fabrik til byggeplads

Sædvanligvis transporteres betonelementer via vejnettet, men jernbanetransport og skibstransport kan komme på tale ved større afstande eller specielle leveringsforhold.

Ved biltransport køres betonelementerne direkte fra fabrik til byggeplads uden behov for omladning.

Vogntypen bestemmes på baggrund af elementernes vægt og størrelse ud fra de forskellige vogntypers lastevne, hjulafstand, venderadius og længde. Der vælges normalt mellem blokvogn, ladvogn, nedbygget ladvogn og reolvogn.

Det danske vejnet tillader sædvanligvis transport af elementer inden for følgende størrelsesgrænser:

- Længde: Ca. 30,0 m
- Bredde: Ca. 3,0 m
- Højde: Ca. 3,6 m.

Transport af større elementer vil normalt kræve særlig køretilladelse fra Politiet (Særtransport). I visse tilfælde vil denne type transporter blive pålagt restriktioner for tidspunkter for kørslen.

Ruten fra fabrik til byggeplads planlægges med hensyn til vægtbegrænsninger for kørebaner, broer og eventuelle færger. Ligeledes tages nøje hensyn til højde-, bredde- og længdebegrænsninger på grund af vejbredde, vejsving, broer, el-ledninger, færger, indkørsler, porte samt skilte og andre forhindringer.

Endelig undersøges også vejforholdene, herunder kørebanens beskaffenhed, færdsels-tæthed, eventuelt vejarbejde eller lokal ensretning af trafikken.

Læsseplan

En læsseplan indeholder oplysninger om de valgte vogntyper, elementernes form og læsseorden, samt om hvor på byggepladsen elementerne skal leveres.

Med en veldisponeret læsseplan bliver elementerne læsset svarende til montage-rækkefølgen, således at de straks ved ankomst til byggepladsen kan løftes på plads i bygningen direkte fra vognen.

Elementmodtagelse på byggepladsen

Byggepladsen bør altid indrettes med gode byggepladsveje, der sikrer ordentlige til- og frakørselsforhold med fornøden vige- og vendeplads.

Byggepladsveje skal have fast, afvandet bund, og der skal sørges for at elementvogne kan afsættes på fast og vandret underlag med jernplader under støtteben.

Modtagekontrol

Straks ved ankomst til byggeplads undersøges elementerne. Herunder kontrolleres elementernes mærkning for korrekt elementtype og -nummer.

Eventuelle synlige fejl og mangler meddeles omgående til fabrikken for at aftale forholdsregler til hindring af montagestop. Der kan fx være tale om transportskader i form af revner, afskalninger og lignende.

Aflæsning

Til aflæsning og montage skal benyttes kraner, der er velegnede til den aktuelle byggeopgave.

Der kan vælges mellem tårnkraner og mobilkraner. Tårnkraner stiller store krav til underlaget, men giver til gengæld betydelige fordele i kraft af manøvreringsdygtigheden, samtidig med at aflæsningen af elementer oftest kan overvåges fra førerhuset.

Af hensyn til effektiv udnyttelse af krankapaciteten bør de projekterende altid drage omsorg for, at der i elementprojektet ikke findes nogle få elementer, der er væsentlig tungere end alle øvrige elementer i projektet.

Mobilkraner stiller mindre krav til underlaget og er især velegnet til lavere byggerier.

Til løft af elementerne anvendes forskelligt anhugningsgrej, afhængigt af elementtype og de indstøbte løfteanordninger i elementet. Dorne er velegnede til montage af søjler og bjælker. Dornen trækkes gennem elementets dornhul og sikres mod udglidning.

Klokker og kløer anvendes til anhugning af løftebolte. Løftebolte må ikke udsættes for skævt træk og kræver derfor normalt anvendelse af løfteåg.

Specialankre giver mulighed for anhugning af elementer uden anvendelse af løfteåg, idet ankrene kan optage skævt træk.

Klemmeåg og skeer anvendes til montage af visse huldækselementer. Klemmeåg skal altid forsynes med sikkerhedsstrop. Andre dæktyper er forsynet med løftebøjler beregnet til anhugning med kroge.

Branchemiljørådet har udarbejdet: Montage af betonelementer og letbetonelementer [2].

2.12.14 Montage

Montage af betonelementer bør altid udføres af erfarne entreprenører, der er kendt med de særlige forhold ved byggemetoden.



Figur 9. Elementmontage med mobilkran.

Ved landing af elementet lader kranføreren elementet "træde" på vederlaget, således at kranen fortsat har kontrollen, medens elementets stilling kan kontrolleres og eventuelt justeres. Før elementet frigøres fra kranen, skal det afstives på forsvarlig måde. Afstivningsmetoden afhænger af elementtyperne. Dækelementer kan uden videre afstivning oplægges på de underliggende bjælker og vægge.

Projekt materialet bør indeholde oplysning om tolerancer på elementernes placering og eventuelt på lodstilling.

Armeringsarbejde og samlinger

Efter opstilling af elementerne monteres bolte, vederlagsdorne og andre blivende forbindelselementer.

I fuger mellem vægelementer og mellem dækelementer placeres den foreskrevne fugearmering. Fugearmeringen sikrer sammenhængen i den færdige bygning. Ofte forlanger den lokale bygningsmyndighed at blive tilkaldt for at syne fugearmeringen, før støbning af fugerne tillades.

I en del elementsystemer, specielt i halbyggerier, baseres sammenhængen på svejsesamlinger i stedet for fugearmering. I så fald er der i elementerne indstøbt særlige

forankringsplader. Kravene til svejsninger og kontrollen heraf bør altid afpasses afhængigt af, om svejsningerne er en del af det bærende system, eller om de blot er en montageforanstaltning.

Fugestøbning

Ved udstøbning af fuger mellem elementer skelnes mellem understopninger, vægfuger og dækfuger. Se også nærmere i [3].

Understopning er en udfyldning af fugen under vægelementer, søjler eller bjælkevederlag efter elementets opstilling. En udbredt metode for understøbning af vægelementer er at udlægge en pølse af mørtel, hvor vægelementet skal stå. Væggens lodrette placering styres ved hjælp af indnivalerede afstandsbrikker. Den normale tykkelse af understøbningsfugen er ca. 40 mm.

Efter placering af vægelementet på afstandsbrikker og afstivning af væggen, skal fugen efterkomprimeres og efterfyldes fra siderne, mens mørtlen endnu er bearbejdelig. Til slut afskæres/afrettes med en murerske.

Fuger mellem vægelementer støbes normalt ovenfra ved at hælde en letflydende mørtel ned i fugen. Fuger med en afstand mellem elementkanterne på indtil 3 mm er selvforskallende, medens større fuger kræver lukning med for eksempel strimler af skumnylon.

Tæt udstøbning af vægfugen sikres ved at bearbejde fugebetonen med et armeringsjern i takt med opfyldningen.



Figur 10. Understøbning af vægelement.

Alternativt anvendes en metode – ofte betegnet Putzmeister-teknik – hvor en specialmørtel pumpes direkte ind i vægfugerne fra siden. Specialmørtlens konsistens er tilpasset, så sideforskalling af vægfugerne ikke er nødvendig.

Fuger mellem dækelementer støbes med en letflydende mørtel eller en letflydende beton med stenstørrelse op til 6-8 mm. Dækfugerne er normalt selvforskallende nedad, medens kantfuger ved trappeskakte eller langs facader kræver en kantforskalling. Anvendes en meget tyndtflydende mørtel, kan bundstopning være nødvendig.

Sandwichelementer til facader udformes sædvanligvis sådan, at den øverste del af forpladen med kuldebroisolering fungerer som kantforskalling for dækfugen i etagekrydset.

Effektiv udfyldning af fugerne kan sikres ved anvendelse af stavvibratorer, der med mellemrum stikkes ned i fugebetonen et kort øjeblik. Når fugebetonen har fået lov at hvile et passende tidsrum, rettes oversiden af i plan med de omliggende dækelementer.

Vejrligsforanstaltninger

I kolde perioder skal den friske fugebeton beskyttes mod frost. Det kan ske ved at isolere med vintermåtter omkring fugerne, med varmelegemer lagt ind under isoleringen, eller man kan støbe varmetråde ind i fugebetonen.

For at sikre dræning af huldækskanaler er det nødvendigt på byggepladsen at bore drænhuller i dækundersiden op i alle kanaler i begge ender af dækelementerne. Hvis der lokalt sker tilstøbning af kanaler til eksempelvis indstøbning af ankre eller fugearmeringsbøjler, skal der også mellem disse tilstøbninger bores drænhuller.

Drænhullerne sikrer ikke alene mod betydende vandmængder i etagedækkene under og efter byggeperioden; men også mod at der om vinteren kan opstå betydende frostsprængninger, som kan svække huldækkenes bæreevne. Sædvanligvis udføres drænhullerne af montageentreprenøren; mens lukning af drænhullerne efter lukning af råhuset udføres som en del af malerentreprisen.

Færdigarbejder

Først når den blivende sammenbygning i en sektion er tilendebragt, kan de midlertidige afstivninger fjernes. Forinden sikres, at fugebetonen har opnået fornøden styrke.

Boltsamlinger efterspændes, og der foretages tilstøbning af dornhuller og andre huller for montage- og afstivningsmateriel.

Hvor projektmaterialet stiller krav om jævn overgang for eksempel mellem væg-elementer, spartles der hen over elementovergangene.

Krav til dette arbejde er formuleret i [4].

Endelig foretages lukning af facadefuger og af andre fuger, der ikke er forlangt tilstøbt.

Til en del facadefuger anvendes særlige fugestrimler af neopren eller andet velegnet materiale. Andre fuger fyldes ud med specielle fugemasser - et arbejde der normalt kræves udført af fugespecialister.

2.12.15 Litteratur

Betonelement-Foreningens Projekteringshåndbøger - i tre dele - kan findes på:

<https://www.bef.dk/teknik-og-design/statik/haandbog/>

Nærværende artikel er i store træk tekstmæssig svarende til Del 1 og 2. halvdel af Del 2 i ovennævnte Projekteringshåndbøger, men er tilpasset www.betonhaandbogen.dk's format og opsætning. Billedmaterialet afviger således også.

[1] SBI, Beton 5, Betonaltaners konstruktive udformning.

[2] Branchemiljørådet BAR, 2012, Montage af betonelementer og letbetonelementer, 4. udgave.

[3] BEF Bulletin No 5 – Sammenstøbning af betonelementer.

[4] Bips, A24, Betonoverflader – specifikation, krav og kontrol.