

APPENDIKS

MATERIALET BETON

Betonoverfladens udtryk

Beton har en række unikke egenskaber, der adskiller den markant fra andre byggematerialer. Beton er plastisk i sin oprindelse og kan formgives til en hver tænkelig geometri, der – med rette valg og dimensionering af den indre armering – kan indgå som bærende konstruktion i et byggeri, hvor den optager betydelige tryk- og trækkræfter. Herudover er beton materialet med de mange ansigter. Således kan betonoverfladen bibringes mange forskellige farver, teksturer, mønstre og relieffer, hvilket giver en stor palet af muligheder, når betonens udtryk skal frembringes.

Betonoverflader kan være smukke, men det kræver en samlet indsats omkring design, produktion, udførelse og vedligeholdelse, hvilket igen fordrer et samarbejde mellem byggeriets forskellige parter tidligt i byggeprocessen.

I det følgende gennemgås en række udvalgte overfladetyper, der er blevet anvendt i betonarkitekturen som en vigtig del af det arkitektoniske udtryk. Overfladerne kan overordnet deles op i ubearbejdede overflader og efterbearbejdede overflader. Begge metoder rummer en række muligheder for at give betonoverfladen en helt særlig karakter i forhold til struktur og tekstur. Ud over ubearbejdede og efterbehandlede overflader vil muligheden for at skabe farver, mønstre og relieffer blive behandlet særskilt.

Ubearbejdede formstøbte overflader

Hvis formstøbte overflader ikke bearbejdes efter afformning, fremstår betonoverfladen med et nøjagtigt aftryk af støbeformens karakter, gengivet ned til mindste synlige detalje.

Et særligt fænomen ved støbning af ubearbejdede overflader er porehuller. Disse skyldes indesluttet luft, som er blevet hængende i overfladen under udstøbningen. Porehuller kan aldrig helt undgås – særligt når der støbes mod tætte, glatte overflader som eksempelvis i stålforme. De må betragtes som en naturlig, integreret del af betonoverfladen, så længe antallet og størrelsen af huller ikke giver anledning til dominans og uensartede overflader.

Valg af støbeformens materiale og karakter er naturligvis afgørende for, hvilken karakter betonen efterfølgende får.

Det er vigtigt, at formen er tæt, så der ikke drænes vand eller pasta fra betonen i områder med utætheder. Sker det, vil det lokalt ændre vand/cement-forholdet eller pastaindholdet og dermed betonens udseende og styrke. I forbindelse med tekstilforskalling er det dog en fordel, hvis overskudsvandet drænes væk, hvorved der kan dannes en stærkere overflade med lavt vand/cement-tal.

Desuden har formmaterialets ensartethed stor betydning. Variationer i forskallingen kan give lige så store forskelle i overfladens farve og tæthed som uensartet vibrering eller variationer i betonsammensætningen.

Et af de mest anvendte materialer til støbeforme er træ. Gennem tiden har især anven-

delsen af rå, uhøvlede brædder været med til at tegne betonens ansigt. Mulighederne med bræddestruktur i betonoverflader er blevet udviklet i mange interessante variationer, både hvad angår struktur, størrelse og orientering.

Bræddeforskallingens karakteristiske opstrøbing af betonoverfladen har til alle tider været et vigtigt virkemiddel i arkitekturen, hvor brædderne både har været med til at fortælle historien om betonoverfladens tilblivelse samt give en fornemmelse af skala i byggeriet. Bræddeforskallingen var næsten altdominerende til pladsstøbte konstruktioner i 1960erne og 1970erne. Senere har forskalling udført af krydsfiner eller stål vundet frem, men mange betonkonstruktioner udføres fortsat med bræddeforskalling.

Forskallinger af træ skal smøres meget omhyggeligt med formolie, da frisk træ indeholder en del sukkerstoffer, der virker retarderende på hydratiseringen i betonoverfladen. Hvis smøringen er utilstrækkelig, vil man ofte få afforskallet for tidligt, dvs. før de yderste millimeter af betonoverfladen er klar til at stå uden udtøringsbeskyttelse. Desuden kan sukkerstofferne i sig selv virke farvende.

Krydsfinerplader anvendes ofte som forskalling. Nogle gange ubehandlede, hvorved træets årestruktur træder frem i overfladen – men oftest anvendes krydsfineren belagt med en glat, vandtæt støbefilm, der giver betonen en glat overflade uden karakter fra træet.

Disse krydsfinerplader, som ofte blot kaldes for støbeplader, har siden 1980erne overhalet bræddeforskallingen som det foretrukne



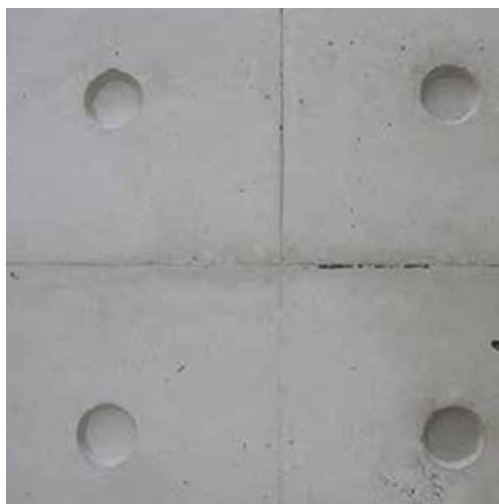
Støbt mod ru forskalling. Flodhestehuset i Zoologisk Have København fra 2007. Dall & Lindhardtsen Arkitekter. Foto: Thomas Juul Andersen (TJA).



Støbt mod ru forskalling. Gug Kirke ved Aalborg fra 1972 af Inger og Johannes Exner. Foto: Hans Bruun Nissen (HBN).



Støbt mod ru forskalling. Sælarium – udvidelse af Nord-sømuseet i Hirtshals fra 2001, Friis & Moltke Arkitekter. Foto: TJA.



Betonoverflade støbt med traditionelle støbeplader. Fra Bunkermuseet i Hanstholm fra 2002 af CUBO Arkitekter. Foto: Karl Christiansen.

forskallingsmateriale til pladsstøbte konstruktioner. Muligheden for at skabe store, glatte betonflader har tiltalt flere arkitekter og bygherrer, og denne type betonoverflader er i dag den mest anvendte.

Et andet hyppigt anvendt formmateriale, som også giver en glat overflade, er stål. Forme i stål anvendes typisk i forbindelse med større, ensartede flader – primært i forbindelse med seriefremstilling af præfabrikerede betonelementer. Stålfarme er dyre i anskaffelse, men kan oftest anvendes til flere hundrede støbninger før udskiftning.

I teorien er det muligt at støbe mod mange slags materialer. I det følgende gennemgås en række alternative materialer, der på baggrund af deres egenskaber har vist sig velegnede som materialer til betonstøbeforme.

Glasfiberarmeret polyester er et stærkt og holdbart formmateriale. Formen fremstilles på baggrund af en master-form, hvor polyesterens påføres. Overfladen bliver meget glat uden synlige samlinger. Metoden anvendes ofte i forbindelse med masseproduktion af præfabrikerede elementer, hvor støbeformens høje fremstillingspris tjenes hjem gennem muligheden for mange støbninger i samme støbeform.

Tekstiler hører til de nyere formmaterialer. Tekstilerne har en række formgivnings- og håndteringsmæssige fordele og kan udgøre selve støbeformen eller anvendes som indlæg heri. Tekstilernes åbne stuktur tillader at luft og overskudsvand fra betonen kan passere. Det giver en tættere overflade, da vand/cement-



Tekstiler blev anvendt som indlæg i forskallingen i forbindelse med HEART i Herning fra 2009, arkitekt Steven Holl. Tekstilerne skaber en særlig »stoflig« tekstur – inklusive foldninger i stoffet. Foto: TJA.

forholdet sænkes, og samtidig bliver overfladen overvejende porefri og mere ensartet. Betonoverfladen vil selvfølgelig få karakter efter tekstilernes struktur. Specielle tekstilmaterialer kan i øvrigt også udnyttes som armering af betonen.

Ubearbejdede overflader ved særlige støbemetoder

Støbning af beton i en fast form er ikke den eneste anvendte støbemetode. Et par alternativer gennemgås i det følgende. Disse metoder har en afgørende betydning for betonens arkitektoniske fremtræden.

Glideforskalling anvendes oftest i forbindelse med høje konstruktioner såsom siloer, tårne, trappeskakte og høje vægge. Under støbningen løftes støbformen gradvist, mens der støbes kontinuerligt. Glideforskallingens støbeflade består typisk af træ eller stål. Karakteristisk for glidestøbte overflader er, at der fremkommer både vertikale og horisontale striber i betonen, hvilket kan bidrage til det arkitektoniske udtryk.

Klatreforskalling er et alternativ til glideforskalling, hvor forskallingsflager, opsat mellem lodrette skinner, løftes ved hjælp af hydrauliske løftere. Flagerne bliver hvor de er, indtil betonen er størknet. Herefter flyttes de op langs skinnerne og er klar til at danne støbform for næste del af muren. Begge metoder kræver en uafbrudt støbeprocess, altså arbejde i døgndrift.

Sprøjtstøbning giver sit helt eget udtryk i betonoverfladen. Udgangspunktet for en sprøjtstøbning udgøres af en åben (ensidig) støbform, normalt med et armeringsnet formet



Sprøjtstøbte betonoverflader på Minnaert Building i Utrecht, Holland, fra 1997 af Neutellings Riedijk. Foto: TJA.



som den endelige konstruktion. Herpå sprøjtes betonen ved hjælp af trykluft, indtil der er opnået en ensartet tykkelse. Overfladen kendetegnes ved at være meget grov, hvilket giver et meget levende udtryk, da den ikke har været i kontakt med en støbeform, men er opbygget i fri luft.

3D-printet beton er en anden nyere metode til at fremstille betonkonstruktioner, hvor der ikke anvendes en støbeform til at forme betonen. I stedet ekstruderes betonen gennem en dyse monteret på et digitalt styret værktøj, som bevæger sig uafhængigt af konstruktionens geometri. Ved denne metode opstår typisk en overflade med en karakteristisk horisontal lagdeling. Metoden er endnu på eksperimentalt stadium, men tegner lovende.

Efterbearbejdede overflader

Betonoverflader kan bearbejdes efter støbningen, så de får en særlig overfladekarakter. Ved ubearbejdede betonoverflader er det cementskuden, der karakteriserer betonoverfladen, mens det ved efterbearbejdede overflader især er tilslaget – eventuelt i kombination med cementskuden – som karakteriserer overfladen. Derfor vil både type og farve af tilslag være afgørende for den efterbearbejdede betonoverflades fremtræden. Der findes et utal af metoder til at efterbearbejde betonoverfladen, og i det følgende gennemgås nogle af de mest anvendte.

Afsyring er en metode, som oftest anvendes i forbindelse med betonelementer, men også kan anvendes til pladsstøbte betonoverflader.

Metoden bygger på, at betonoverfladen vaskes i syre, som efterfølgende spules væk, hvorved den yderste cementpasta opløses, og det fine tilslag fremhæves i overfladen. Resultatet er en meget levende betonoverflade, hvor farven og strukturen fra det fine tilslag bidrager til at give en særlig overfladekvalitet.

Sandblæsning af betonoverflader giver en dybere og grovere frilægning af tilslaget end afsyring – og typisk vil det også være vanskeligere at udføre. Sandet fjerner både cementpasta og i nogen grad fint tilslag, hvorved overfladen bliver forholdsvis ru. I det sandblæsningen også påvirker det blottede tilslag, får dette et mat udtryk. Sandblæsningen kan udføres med både fint og groft sand, hvorved forskellige grader af ruhed og mathed kan opnås. Arkitektonisk giver metoden mulighed for at skabe betonoverflader, der kan give mindelser om flere ubehandlede naturstenstyper og dermed et mere rå udtryk. Kunstnerisk anvendes metoden også til at skabe mønstre og relieffer i betonen.

Betegnelsen *fritlagte* betonoverflader anvendes i de tilfælde, hvor det er tilslaget, der udgør »betonens« overflade. Frilægning opnås typisk ved at påføre en retarder – fx en sukkeropløsning, der forsinker betonens afbindingstid – direkte på formmaterialet. Efter afformning spules den ikke-afbundede cementpasta i overfladen væk, hvorved tilslaget træder frem og udgør den egentlige overflade. Derfor vil tilslagets udseende – størrelse, form og farve – være afgørende for, hvordan overfladen fremtræder.

Kløvede overflader er en samlet betegnelse for en række mekaniske efterbehandlingsmetoder, hvor den hærdede betonoverflade kløves, hamres eller hugges. Herved skabes en grov tekstur med synlige spor fra den anvendte metode. Overfladen fremstår med mange små brudflader, der kan give mindelser om eksempelvis grove granitoverflader.

Ved en *slebne* betonoverflade træder betonens tilslagsmaterialer frem i plan med cementpasten og giver den velkendte terrazzooverflade. Der findes fire overordnede grader af slebne overflader, afhængigt af hvor fin eller grov overfladen skal fremstå:

- Grovslibning: grov overflade
- Finslibning: fin, mat overflade
- Polérslibning: højere finhedsgrad end finslibning
- Polering: fin, glinsende overflade.

Mens de omtalte efterbehandlingsmetoder udføres på den hærdede beton, findes en række efterbehandlingsmetoder, som udføres på den friske beton for at give en særlig overflade. Med disse metoder, som oftest udføres i forbindelse med gulvflader eller betonelementer, kan der eksempelvis opnås glittede, kostede eller rullede betonoverflader.

Glittede overflader udføres typisk med specialmaskiner – tallerken- og vingeglittere, der i roterende bevægelser afriver og glitter overfladen. Glittede overflader kan korrekt udført blive endog meget ensartede og glatte.



Eksempel på kløvede betonoverflader i forbindelse med MAGMA Kunst- og Kongrescenter på Tenerife fra 2005 af Fernando Martin Menis. Foto: TJA.



Eksempel på slebne betonoverflader i boligbebyggelsen Emaljehaven i København NV fra 2006 af Entasis. Foto: Torben Eskerod.

Kostede overflader opnås ved at en kost trækkes hen over den endnu ikke hærdede betonoverflade og skaber et rillet udseende.

Rullede overflader udføres med ruller eller valser, som efterlader en levende, bølget overflade.

Farver og nuancer

Betonens farve bestemmes af de fine partikler, dvs. cement, tilsætninger og filler i tilslaget.

Som udgangspunkt er det cementen, der bestemmer betonens farve, hvilket vil være grå eller hvid (ved brug af hvid cement). Herefter bestemmer eventuelle tilsætninger som mikrosilika, flyveaske eller kalkfiller samt det fine sand farvenuancen. Flyveaske og mikrosilika giver en mørkere grå nuance, end hvis der kun anvendes cement.

Ud over de traditionelle »betonfarver« kan betonen indfarves. Dette opnås ved at tilsætte pigmenter. Farvet beton fremstilles primært ud fra hvid cement. Tilsætninger i form af farvepigmenter findes i forskellige farver, fx rød, gul, brun eller sort.

Modsat malede betonoverflader fremstår pigmenterede betonoverflader mere ægte, da indfarvningen ikke går ud over betonoverfladens stoflighed. Farven vil dog normalt falme med tiden.

Oplevelsen af en betonoverflades farvenuance kan visuelt opfattes som foranderlig. Eksempelvis vil en våd betonoverflade opfattes som markant mørkere end en tør betonoverflade. Det skyldes det tynde lag kalcium-

karbonatkrystaller på overfladen, der giver betonen et lysegråt, hvidligt skær i tør tilstand – men når betonoverfladen er våd, kan krystallerne ikke reflektere lyset i samme grad, fordi kalciumkarbonat har cirka samme brydningsindeks som vand og »gemmer sig« i vandfilmen. Man ser derfor betonens reelle farve direkte gennem vandfilmen.

Mønstre og relieffer

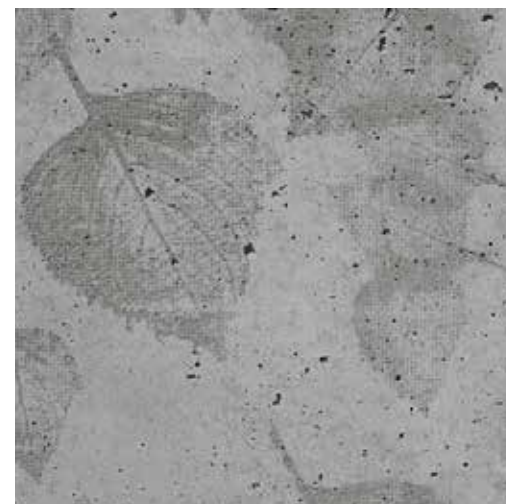
Gennem tiden er der eksperimenteret med at skabe mønstre og relieffer i betonoverflader. Som udgangspunkt vil aftegninger fra et forskallingsmateriale – fuger mellem betonelementer, aftegninger af formsamlinger, konushuller m.v. – udgøre et karakteristisk mønster på en betonoverflade- og facade.

Herudover er der også en række metoder til at skabe betonoverflader, der kan være mønster- eller billeddannende. I det følgende gennemgås en række eksempler, der har været med til at udfolde de potentialer, der adskiller beton fra andre byggematerialer.

Grafisk beton eller »Graphic Concrete« giver mulighed for at præge grafiske motiver ind i betonoverfladen. Det ønskede mønster eller billede trykkes med en retarder på en dug, hvorefter betonen udstøbes med denne dug som formside. Efter afformning spules overfladen, hvormed der sker en frilægning af betonoverfladen i områderne med retarder. Effekten er mest markant, når der er størst kontrast i farverne, dvs. en lys cementpasta og et mørkt tilslag.



Betonoverflade i rødlige nuancer i Elefanthuset i Zoologisk Have, København. Farven skyldes et tilslag af rødt farvestof (jernoxid) i cementen. Foto: Torben Eskerod.



Motiver i beton skabt via »Graphic Concrete«. Overfladepark ved Teknologisk Institut (TI) i Taastrup. Foto: TJA.



Betonooverflader med relieffer. DR's koncertsal i Ørestaden, arkitekt Jean Nouvel. Foto: HBN.



Betonooverflader med relieffer. Rytmaskonservervatorium på Holmen i København fra 1997 af CUBO Arkitekter. Foto: Søren Hansen.



Betonooverflader med relieffer. Aller Tryk i Taastrup fra 2002 af Gottlieb og Paludan Arkitekter. Foto: Tommy Bæk Hansen. Ved Aller Tryk er bogstaverne placeret tilfældigt, men det krævede en omfattende »kvalitets-sikring« at undgå, at der opstod ord eller udsagn i overfladen.

Når et mønster eller billede udgøres af et aftryk ind i betonen eller træder ud af betonen, er der tale om et relief. Relieffer kan fx dannes, ved at der placeres et indlæg i støbformen. Indlægget kan være profilerede metalplader, bølgepap, plastfolier m.v.

Et eksempel er betonooverfladerne i forbindelse med Danmarks Radios koncertsal i Ørestaden, skabt af den franske arkitekt Jean Nouvel, hvor en plastfolie er lagt tilfældigt i støbformene. Det giver nogle glatte, foldede betonooverflader der har fået tilnavnet »elefanthud«.

Når der skabes betonooverflader med relieffer, anvendes ofte gummimatricer. Metoden er i nogle tilfælde anvendt til at få betonen til at imitere strukturen fra et andet byggemateriale, eksempelvis tegl eller natursten, men i andre tilfælde er metoden anvendt langt mere inspirerende til at skabe helt nye overfladeudtryk, som i stedet afsøger nye sider af betonens store potentiale.

I nyere tid er der eksperimenteret en del med at frembringe relieffer ved hjælp af digitale fabrikationsteknikker. Det kan eksempelvis ske ved digitalt at udfræse relieffer i et modelmateriale, typisk polyuretan- eller polystyrentyper, som enten anvendes direkte som formindlæg eller påføres en coating, eksempelvis epoxy, gummi eller lignende, inden det anvendes som formindlæg. Denne metode kan også anvendes til at støbe færdigt gummimatricer – men hvor gummimatricerne ofte først vil være rentable efter 10-20 støbninger, vil de fræsedede

formindlægt være mere velegnede til unikke støbninger.

Gennemsigtig beton kan skabes med optiske fibre indstøbt i betonen. Herved skabes en masse små lysledende kanaler, som transporterer lyset gennem betonen. Hvis de optiske fibre arrangeres jævnt over hele overfladen, vil betonen opleves translucent (gennemskinnelig).

Lyslederne kan også arrangeres, så de bliver mønster- eller billeddannende. Teknologien åbner op for helt nye arkitektoniske virkemidler, hvor eksempelvis dagslys kan trækkes ind i ellers mørke rum, eller billeder kan projiceres ind fra bagsiden, hvorved betonoverfladen kan fungere som billedskærm. På det seneste arbejder man også med integreret LED-lysteknologi.

Produktionsmæssige præmisser

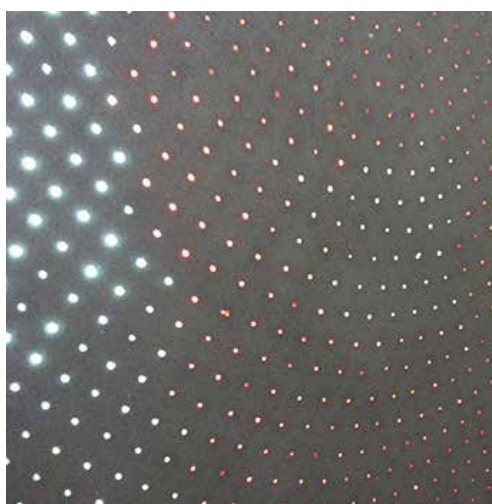
Fordi beton er et byggemateriale, der skabes i takt med produktionen, har produktionsforholdene altid betydning. Disse produktionsmæssige præmisser bunder oftest i en række teknologiske forudsætninger, der i sidste ende får en betydning for det arkitektoniske udtryk. De bedste eksempler fra arkitekturen er skabt, hvor arkitekterne har set nye arkitektoniske muligheder på baggrund af de produktionsmæssige præmisser frem for at modarbejde disse.

Elementsamlinger

Når der bygges med betonelementer, bliver udformningen af hvert element – og især samlingerne imellem dem – meget afgørende for det arkitektoniske udtryk. Netop byggeri med



Teknologisk Institut (TI) har udført en række demonstrationsforsøg med relieffer skabt via digital produktion. Mulighederne er som det ses store, men effekterne skal anvendes med betydelig arkitektonisk forsigtighed. Foto: Foto: TJA.



Optiske lysledere i beton giver mulighed for at transportere lys fra betonens bagside frem til overfladen. Overfladepark ved Teknologisk Institut. Foto: Johannes Rauff Greisen.



Ved at se nye muligheder i udformning og sammenstilling af betonelementer kan der skabes nye, inspirerende udtryk. Her eksemplificeret ved Emaljehaven fra 2006 af entasis arkitekter. Foto Torben Eskerod.



Et eksempel på at formsamlinger kan udgøre et mønster på facaden og fremhæve arkitekturen. Casa Musica i Porto, Portugal, fra 2005 af OMA. Foto: Mette Seiding.

betonelementer har historisk været præget af uinspireret anvendelse, hvor den nemme og billige produktion og stabling af ens elementer ofte har medført en repeterende arkitektur, som også har fået betegnelsen »kransporsarkitektur«.

Trods en til tider kedelig udvikling findes der dog arkitektonisk interessante bud på en mere kreativ og æstetisk anvendelse af betonelementer i arkitekturen. Disse bud bygger oftest på en særlig bearbejdning af selve betonoverfladen og/eller en interessant sammenstilling af betonelementer, hvor elementernes geometri og indbyrdes placering giver en særlig arkitektonisk relevans.

Ud over geometri og overflade har betonelementers størrelse vist sig at have en stor betydning for den visuelle ensartethed af hele facaden. Det vil oftest være mest markant i forbindelse med farveforskelle betonelementerne imellem. Farveforskelle er en næsten uundgåelig præmis, som fremkommer via små variationer i støbeforme, betonblandinger, lagringsforhold m.v. Farveforskelle vil typisk opfattes mest markant, hvis en facade består af få, større betonelementer, og mindre markant, når facaden består af mindre enheder, der trods indbyrdes variationer kan udgøre en høj grad af visuel ensartethed.

De samme forhold gør sig gældende, når betonoverfladerne patinerer. Et arkitektonisk design, der nedbryder facaderne i mindre elementer, vil ofte være med til at give en oplevelse af en mere ensartet patinering efterfølgende.

Formsamlinger

Ved større, sammenhængende betonoverflader opdeles forskallingen i mindre dele. Det vil oftest gøre sig gældende ved pladsstøbte konstruktioner. Her anvendes typisk forskellige varianter af systemforskalling, som er præfabrikerede forskallingsdele, der på byggepladsen sammensættes til den samlede forskalling. Hver forskallingsdel består typisk af et stålskelet, der sørger for den statiske struktur, samt en vandfast krydsfinerplade, der udgør selve støbeflader.

Efter støbning vil samlingerne mellem krydsfinerpladerne være synlige i betonoverfladen og dermed udgøre et mønster henover konstruktionen. Ofte vil arkitekter bevidst arbejde med dette mønster, da det indgår som en markant del af det arkitektoniske udtryk. Der er flere eksempler på, at der ikke blot er eksperimenteret med forskellige størrelser systemforskallingsdele, men også med forskellige inddelinger af hver forskallingsdel via formindlæg. Disse kan være både være valgt for at give overfladen en ny inddeling og æstetisk kvalitet og/eller relief og geometri.

Konus- eller klamphuller

En af de mest markante markeringer, som optræder på større betonkonstruktioner, er de små, cirkulære fordybninger kaldet konus-huller eller klamphuller. De fremkommer primært ved pladsstøbte betonkonstruktioner, hvor der er anvendt spændestave (klampjern) til at holde to forskallingsdele sammen.

Normalt er spændestavene beskyttet af et plastrør, som afsluttes med en plastprop formet som en konus. Konusproppen fjernes efter støbningen og efterlader et konusformet hul i betonen. Hullet udfyldes med en prop i plast eller stål – eller mest almindeligt med mørtel. Ved sidstnævnte metode udføres udfyldningens overflade ofte nedsænket i forhold til resten af betonoverfladen, dels for at sløre den uundgåelige farveforskel og overfladekarakter mellem betonoverfladen og mørteludfyldningen, dels for at skabe en klar arkitektonisk afgrænsning mellem betonoverflade og udfyldning.

Konushuller i pladsstøbte konstruktioner anses for at være en af de præmisser, der er med til at give beton sit helt eget udtryk. Bl.a. derfor har mange arkitekter eksperimenteret med både udformning og rytme i placeringen af konushuller, så de kunne være med til at udgøre en integreret del af det arkitektoniske udtryk. I flere tilfælde er der indført »falske« konushuller, dvs. afsat konuspropper, hvor der ikke har været behov for spændestave, for at skabe et tilsigtet mønster på betonfacaden.

Betonbelægninger

Færdigstøbte sten og fliser af beton er et af de mest brugte materialer i anlægsbranchen, og det kan nemt varieres i farver og former i meget præcise størrelser. Betonbelægningers æstetiske fremtræden beror på deres ensartethed, farve og struktur, der bl.a. opnås ved forbandtet og kanternes affasning. I forhold til natursten og klinkers varierede udseende og

farve har betonbelægninger en mere uniform karakter, også selv om der anvendes komplicerede mønstre og farveblandede sten. Holdbarheden er ikke helt på højde med natursten, men hvis de holdes rigtigt, er en levetid på 30-60 år ikke ualmindeligt. Betonsten kan fremstilles med en fortanding, så de enkelte sten låser sig ind i hinanden.

I starten var betonsten en billig efterligning af tegl og natursten, men i dag arbejdes der friere på materialets egne betingelser. Mange betonvarer fås i dyre udgaver med fx fritlagte sten og slebne overflader. Mange sten og fliser findes i modulerier, således at de forskellige varer passer sammen i mål og farve. Variationsmuligheder, der kan udføres inden for samme byggemål, giver frihed til at variere overfladestruktur og farve og derved fx opdele et trafikareal og markere parkeringsbåse.

Sten og fliser udføres i alle mulige formater, fra den 5 x 5 cm store mosaiksten op til 1 m² store fliser. Formaterne angives som *byggemål*, der er runde tal som fx 50 x 50 x 6 cm. Måler man på flisen eller stenen, får man basismålene, og de er mindre. Byggemålet er nemlig lig med basismålet plus en fuge, dvs. en halv fuge i hver side.

Ofte anvendes også begrebet *modulmål* i stedet for byggemål. Modulmål er imidlertid en mere omfattende betegnelse, som følges i alle materialetyper i det pågældende byggeri, så fx kantstenene passer med flisernes længde, som igen går op i bygningens længde og døre og sideindganges placering. Derved begrænses



Retsbygningen i Holstebro fra 1992 af 3xN, hvor konushullerne er udfyldt med en metalprop. Foto: Tommy Bæk Hansen.



Facade på Roskilde Amtsgård fra 1979 af Knud Munk, hvor konushullerne er placeret i et mønster, der understreger bygningens arkitektur. Foto: Torben Eskerod.

antallet af tilskæringer, og det færdige resultat bliver bedre og billigere.

Store fliser kaldes også kørebane- og fortovsfliser og har sædvanligvis en enkel, rektangulær form. Typiske byggemål er 80 × 62,5 cm, 62,5 × 62,5 cm, 62,5 × 40 cm, 45 × 90 cm og 60 × 120 cm. Tykkelsen er henholdsvis 10 cm for tung last og 6-8 cm for let last.

Mindre fliser fra 50 × 50 cm og nedefter i byggemål kan kaldes havefliser. Tykkelsen er 5-8 cm og formen kvadratisk eller rektangulær. Fliserne indgår ofte i et system med en opdeling i halve og kvarte stykker, og hvor der også indgår kantsten, vandrender m.v. Sådanne fliser kaldes også modulfliser eller modulerier, hvori der også indgår sten. Mindre, irregulære fliser kaldes også for faconfliser, og et klassisk eksempel er den sekskantede Bellahøjflise med overflademålet 36 × 32 cm. Faconfliser kræver særlige kantafslutninger til at lave en ret kant.

Selvlåsende sten er fortandede sten, der griber ind i hinanden og derfor er gode til at overføre sideværts belastninger. Hvis de enkelte sten har godt fat i hinanden, begrænses risikoen for deformationer, herunder skæve fuger. Belægninger af selvlåsende sten har større bæreevne end ikke-sammenlåste sten, og med de takkede fuger er det ikke så synligt, hvis der alligevel sker deformationer. Stenene har ofte en størrelse på ca. 10 × 20 cm, men der er også større formater. Stenene kan være formet, så låsningen enten sker i én retning eller i alle horisontale retninger på én gang, hvilket medfører en kompleks form. Den første type af sammenlåste

belægningssten på det danske marked var den enkle S-formede sten, som mange leverandører har i deres sortiment. Stenene skal sluttes af med specielle sten for at få en ret kant.

Ikke-sammenlåsende sten er sten under 300 cm² uden fortanding, hvor sammenlåsningen kun sker i kraft af et forbandt. De har oftest en kvadratisk eller rektangulær form, hvor længden er 1, 1½, 2 eller 3 gange bredden. Størrelsen er typisk omkring 7-12 cm i bredden og 15-30 cm i længden, og stenene er ofte inspireret af natursten og tegl i størrelse, struktur og farve.

Betonchaussésten bruges ofte som betegnelse for betonterninger i format 10 × 10 cm, mens udtrykket betonklinker anvendes om sten, der i størrelse og farve er inspireret af teglstenen med byggemål 11,5 × 23 cm i overfladen, suppleret af halve sten både på tværs og på langs.

Betonbrosten er igen inspireret af kørebanebrosten med et basismål på omkring 14 × 21 cm, eventuelt med varierende længder. Farverne er ofte rødlige eller gråbrune, og der findes to typer: »rumlede sten« med uregelmæssigt takkede kanter og »brolæggersten«, der er støbt med en blødere, uregelmæssig kant.

Græsarmeringssten er sten med huller og eventuelt falske fuger, der giver ekstra plads til græsvækst. Stenene findes bl.a. som udhulede sammenlåsende sten, som tykke hullede fliser eller som en sten, der efter lægning ligner sekschaussésten. Hulprocenten er 2-40 pct., men med fuger imellem kan det bevoksede areal nå op på 75 pct..

Der er mange forskellige muligheder med hensyn til *læggemønstre*, og der er også forskel på, hvor gode de forskellige mønstre er til at modstå påvirkninger fra trafik, afhængigt af stenenes orientering. Det mest effektive af disse mønstre er vinkelforbandtet (sildebensmønster), efterfulgt af blokforbandtet og løberforbandtet. Med mest effektive mønstre, hvilket mønster der giver færrest deformationer, eksempelvis sporkøring.

Belægningssten produceres næsten altid med tørbeton i en blokmaskine, hvilket er en markant anderledes proces end traditionel betonstøbning. Derfor er de glatstøbte overflader også anderledes end ved vådstøbning, typisk mere porøse og matte. Strukturen af den ubehandlede *overflade* afhænger af tilslagsmaterialet. Med et stenet tilslag, der er godt for styrken, kan man få en vis åbenhed, og omvendt kan man med et fint betonlag, eventuelt som tolagsbeton, opnå en mere lukket struktur i overfladen. Tilslagsmaterialet kan være fritlagt i overfladen, således at de større partikler præger overfladen med deres ruhed og farve. Overfladen kan blive glat og plan ved en slibning, så den kommer til at minde om slebet natursten. I princippet kan overfladen poleres op til at blive helt blank, men så bliver friktionen meget ringe. Man kan også gøre overfladen let ru ved at brænde den, ligesom man gør ved natursten. Herved falder der små flager af den fine beton, mens de hårde dele træder frem og gør overfladen ru og skridsikker. Næsten samme resultat opnås ved at kuglehærde overfladen, dvs. behandle den med ca. 1 mm

store stålkugler ligesom ved sandblæsning. Frilægning, slibning og kuglehærdning giver belægningen et udseende, der kan konkurrere med natursten. Overfladen kan også struktureres ved at afsyre eller sandblæse den hærdede overflade, benytte et struktureret støbestempel eller børste eller pudse den afformede sten. Herved opnås ligeledes et resultat, der minder om de uregelmæssige strukturer, man finder i naturmaterialer. Kanterne kan gøres uregelmæssige med takker og afrundinger, enten direkte i støbeformen eller ved at behandle de færdige sten i en ståltromle, så der slås stykker af kanterne – såkaldt »rumlede« sten.

Betonbelægninger har en naturlig farve, som kommer fra cementen og tilslaget. Grå cement og mørkt tilslag giver mørkegrå beton, hvid cement og lyst tilslag giver lysegrå eller næsten hvid beton. Hvis overfladen fritlægges, er det næsten kun tilslagsmaterialet, der bestemmer farven.

Men betonbelægninger kan også indfarves. Er udgangspunktet grå cement, fås dæmpede farver, med hvid cement fås renere farver. De mest almindelige er toner i brun, rød og gul svarende til naturstensfarver. Indfarvningen sker ved at tilsætte betonen et farvestof, normalt et jernoxid-produkt, der indgår i tilslaget på linje med de øvrige tilslag. Farven vil derfor altid være der, men når de øvrige tilslagsmaterialer slides ned over tid, vil belægningen efterhånden få en lidt anden farve. Farvninger vil derfor i længden blive bedst med jordfarver, der er tæt på tilslagets farve.

Støbning på stedet, *in situ-støbte belægninger* i plastisk tilstand, kan bruges til overfladelag. Et tyndt lag beton har kun en ringe bøjningstrækstyrke, mens styrken tiltager betydeligt, når betontykkelsen øges. Betonbelægninger er derfor mest lønsomme, når der er tale om store belastninger. For at undgå revner i betonen indlægges der normalt fuger med passende mellemrum, så der dannes plader på 20-40 m², typisk 6 × 6 meter. Sten og fliser kan indbygges i plastisk beton og således være en del af en meget stiv konstruktion.

Ældning og patinering

Den arkitektoniske udformning af betonbyggeriet har en afgørende betydning for, hvordan betonoverfladen ældes og patinerer. Den æstetiske oplevelse – især den visuelle ensartethed – vurderes ofte på baggrund af den måde, hvorpå de synlige betonoverflader patinerer. Det kan være vanskeligt at definere, hvornår en overflade er smuk. Men generelt opfattes det som en skønhedsplet, hvis betonoverfladen ikke lever op til det forventede udseende og ikke understøtter konstruktionens arkitektoniske ide. Derfor kan faktorer som uensartethed, smuds og begroning udgøre alvorlige problemer for det æstetiske udtryk, selv om de ikke er det i teknisk forstand. En bygning kan på relativt kort tid komme til at fremstå gammel og slidt på grund af en i øvrigt harmløs nedbrydning af betonens overflade. Hyppig vekslen mellem frost og tø, erosion og revnedannelser er fænomener, der alle kan ændre overfladens

udseende, og ældningen vil ofte variere hen over konstruktionen, fordi de enkelte dele ikke bliver påvirket i samme grad. Konstruktionens overordnede udformning har betydning for overfladernes udseende: Bygningens størrelse, orientering og form skal ses i forhold til omgivelserne, herunder den fremherskende vindretning, træer og anden beplantning samt andre bygninger og lokale topografiske forhold. Forholdene omkring udformningen af konstruktive detaljer såsom udhæng, elementer og elementsamlinger bør overvejes nøje.

Ældning og patinering kan inddeles i fire overordnede typer:

- Begroning – alger, skimmelsvamp, mikroorganismer
- Nedbrydning – nedbør, mekanisk nedbrydning, forvitring
- Misfarvning – rustudfældning, kalkudblomstring
- Tilsmudsning – snavs, støv, sod, trafikfilm

Ved tilførsel af især regnvand accelereres ældningsprocessen betydeligt, dels på grund af regnens surhedsgrad, der opløser den basiske cementpasta, dels afhængigt af forskelle i afvaskning og opfugtning af overfladen. Således vil vandet – afhængig af detaljeringen – enten løbe fra overfladen og dermed lede smuds væk eller absorberes af overfladen og dermed afsætte smuds. Vand har ligeledes stor betydning for, om overfladen bliver begroet med alger og andre vækster, der især trives i et fugtigt miljø.

Nedenstående detaljer har stor betydning for, hvordan betonoverfladerne ældes og patineres:

- Bygningsdetaljer – formgivning, udkragninger, sålbænke, tagafslutning, vinduesdetaljer, objekter m.v.
- Overfladekarakter – overfladetekstur og relieffer

Herudover vil diverse udførelses- og driftsmæssige forhold også kunne have en betydning.

Bygningsdetaljer

En bygnings overordnede formgivning, størrelse og orientering har betydning for, hvor meget vand der tilføres de forskellige bygningsdele. Særlig er vindretningen afgørende, fordi vind- og læside modtager forskellige mængder vand. Hertil kommer, at vandet på vindsiden ofte fordeles ujævnt, fordi vinden danner hvirvler, som kan trække vand væk fra især de nedre dele af bygningen. Vandrette eller skrå, opadvendte bygningsflader vil også have en tendens til at blive mere begroede end vertikale flader.

Detaljer omkring vinduer i et betonbyggeri er ofte genstand for uensartet patinerings. I modsætning til betonoverfladen suger vinduerne typisk ikke vand, hvorfor der under et vindue vil ophobe sig større vandmængder, som skal fordeles videre ned ad facaden.

Udformningen af en sålbænk, vandnæse, afløbsrende eller lignende er afgørende for, hvordan vandet strømmer videre ned ad facaden. Typisk vil smalle sålbænke eller vandnæser under større vinduespartier resultere i, at

vandet løber videre ned ad facaden umiddelbart under vinduet med størst koncentration i kanten. Det resulterer i nogle ofte markante striber under vinduet.

Hvis sålbænken eller drypnæsen er større og dækker mere end vinduets bredde, vil der ske en betydelig mere ensartet patinerings af betonoverfladen. Ved løsninger, hvor vandet under vinduer ledes bort via afløb, opnås ligeledes en mere ensartet patinerings.

Diverse udkragninger kan have meget varierende effekt på vandbevægelsen over en facade. Her er både størrelsen og udformningen af udkragningen af stor betydning for, hvordan vandet ledes videre.

Ud over de nævnte detaljer omkring vinduer og udkragninger vil diverse apteringer på en facade ofte have betydning for vandets flow – nogle gange også med udvaskning fra apteringsmaterialet, som aflejres og farver betonoverfladen.

Overfladekarakter

Betonens overfladekarakter afgør, hvordan vandet på en given flade fordeles og eventuelt opuges.

Som udgangspunkt vil porøsiteten have betydning for især begroing. Ofte er fritlagte eller afsyrede overflader mindre følsomme, fordi smuds skjules i porer og fordybninger. Meget glatte overflader kan derfor let fremstå mere snavsede end overflader med en mere ru tekstur, selv om de er mindre tilsmudsede. Overfladeteksturen skal derfor nøje overvejes.



Tydelig afvaskning af overfladen i striber på Hotel Astoria i København, tegnet 1935 af Ole Falkentorp. Resultatet er en uensartet patinerings under vinduerne. Foto: HBN.



Gug Kirke i Aalborg fra 1972 af Inger og Johannes Exner. Selvom kirken nu har modtaget 46 års patinerings, synes denne at være forholdsvis ensartet, primært på grund af betonoverfladens grove karakter og skråstilte bræddestruktur. Foto: HBN.

Mere porøse og ru overflader har større tendens til at blive begroet end tættere og glatte overflader.

Dog kan den visuelle ensartethed opfattes anderledes, da en betonoverflade med mange detaljer i form af ruhed, mønstre og relieffer ofte vil bidrage til at sløre opfattelsen af en uensartet patinering.

Udførelse

Udførelsesfasen er i høj grad medvirkende til at skabe betonoverfladens udseende. Støbeformens kvalitet er meget væsentlig, herunder vandtæthed, ensartethed i overfladestruktur og mekanisk stabilitet. Ofte vælger producenten at bruge formolie i formen. I de tilfælde skal det sikres, at midlerne hverken medfører en betydende retardering af betonoverfladen eller smitter af på den. Derudover skal vibrationen af betonen kunne ske uden risiko for, at betonen separerer, hvilket stiller krav til placering af armering og afstivninger af formene.

Det er vigtigt for tætheden, og dermed også for den æstetiske holdbarhed, at overfladen får lov til at hærde godt igennem, inden den eksponeres. Der bør derfor sørges for grundig udtørningsbeskyttelse i typisk 2-7 døgn, afhængigt af temperatur og luftfugtighed.

Drift og vedligeholdelse

Der bør altid foreligge en vedligeholdelsesplan, der indeholder kriterier for overfladens udseende, og hvornår der skal ske en afrensning. Desuden skal planen fastlægge, hvilke former for afrensning og eventuel forebyggelse, der skal anvendes. På denne måde tages der kvalificeret stilling til, hvilken udvikling i æstetisk udtryk man ønsker, samt hvordan dette sikres. Vedligeholdelsesplanen bør aftales med bygningsejeren inden byggeriets igangsætning, idet vedligeholdet afhænger af både udformning, betonsammensætning og efterbehandling.

Afrensning

Afrensning skaber i princippet en ren plet på en ellers mere eller mindre jævnt patineret overflade, hvorefter det er umuligt at genskabe den naturlige patinering. Det må derfor overvejes grundigt, om afrensning overhovedet er en god ide. I bekræftende fald skal afrensningen ske over så stort et område, at konstruktionens overflader synes ens afrenset, uanset hvorfra de betragtes. Visse afrensningsmetoder nedbryder betonens overflader, fx afsyring, sandblæsning og højtryksrensning. Mere skånsomme alternativer bør overvejes, såsom rensning med vand og børste (eventuelt med sæbe)

samt visse afrensningsmidler, der efter påføring blot skylles af.

Afrensning eller reparationer kan eventuelt afsluttes med en forebyggende behandling med et hydrofobermiddel, der gør overfladen vandafvisende, eller et middel, der gør det nemmere at fjerne graffiti. Forskellige produkters UV-resistens er meget varierende, så holdbarhedsperioden kan variere fra 5 til 20 år.

Reparation

Det er meget vanskeligt at udføre reparationer på betonelementer eller -konstruktioner på en sådan måde, at de ikke er synlige eller bliver det på længere sigt. Enhver reparation bør derfor som hovedregel anvende den oprindelige betonsammensætning, herunder cementtype, farvepulvere (pigmenter) og tilslag. Formaterialet bør være så tæt på det oprindelige som muligt, og reparationen bør udføres af erfarne håndværkere.