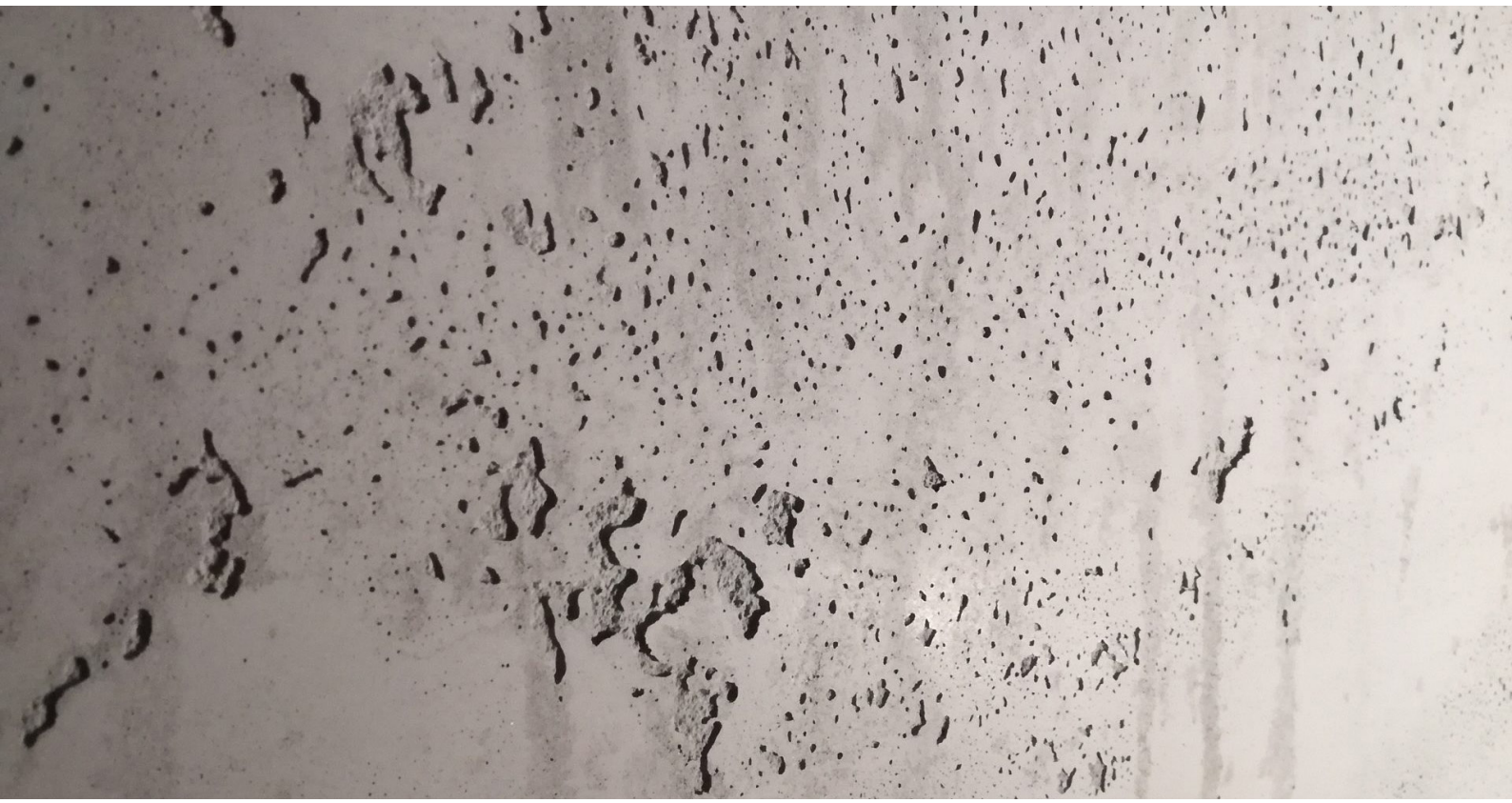
Vejledning om arkitektonisk beton

Anvisninger om projektering og produktion



formee

Forestilling
hos bygherren eller
projekterende

Muligt resultat på
byggepladsen

INDLEDNING

Arkitektonisk beton – skønhed og teknik i ét

Arkitektonisk beton har i årevis inspireret arkitekter, bygherrer og udførende. Det er et materiale, der forener en usædvanlig visuel karakter med holdbarhed og konstruktiv soliditet. Hver især opfatter dog beton på sin egen måde – nogle værdsætter dens æstetik og ædle råhed, andre fokuserer på funktion og tekniske parametre.

Selv om der opføres stadig flere byggerier i arkitektonisk beton i Polen, mangler der fortsat klare og ensartede retningslinjer og standarder, som ville lette projektering, udførelse og aflevering. Følgen er hyppige misforståelser og forskellige forventninger til overfladens udseende og kvalitet.

Forestil dig en proces, hvor:
det er kendt, hvor mange porer betonoverfladen må have, og hvor store de må være,
de tilladte farveforskelle er nøje fastlagt, og det på forhånd er klart, hvornår der skal udføres et referenceelement,
overslag og tidsplan ikke levner plads til gætværk.

En sådan ordning af kravene gør det muligt at:

- undgå unødige tvister og reklamationer,
- afkorte gennemførelsestiden,
- sikre høj kvalitet og gentagelighed i resultatet,

planlægge budget og teknik præcist.

I andre lande findes omfattende regler og standarder – hos os anvendes de stadig sjældent på grund af manglende oversættelser og begrænset tilgængelighed. Samtidig produceres der i Polen hvert år millioner af kubikmeter beton, hvoraf en betydelig del er arkitektonisk beton, hvis kvalitet afgør bygningernes udtryk og bygherrernes tilfredshed.

Derfor er dette materiale blevet til – for at gøre det lettere for alle i byggeprocessen at samarbejde ud fra klare regler og høje standarder. Det er et skridt mod en mere professionel, forudsigelig og inspirerende brug af arkitektonisk beton i polsk arkitektur.

Definitioner og grundbegreber

Arkitektonisk beton
Det er beton, som allerede i projekteringen bevidst planlægges og defineres med hensyn til overfladens udseende. Dens æstetik – struktur, farve, ensartethed – har afgørende betydning for bygningens visuelle karakter.

Som arkitektonisk beton regnes ikke blot overflader, der efterlades i naturlig form efter afformning, men overflader udført under overholdelse af de nødvendige tekniske forskrifter – således at

Klasser og krav
til arkitektonisk beton

Arkitektonisk beton er et materiale, der bevidst projekteres allerede i dokumentationsfasen. Kravene til dets udseende – struktur, farveensartethed eller porøsitet – påvirker bygningens visuelle karakter væsentligt. Arkitektonisk beton kan antage forskellige former:

- efterladt i naturlig tilstand efter afformning,
- gennemfarvet,
- mekanisk bearbejdet (f.eks. slibning, bejdsning, flammebehandling, sandblæsning, polering),
- med blotlagt tilslag.

Uanset overfladebehandlingen er betingelsen for succes, at den tekniske disciplin overholdes, så overfladefejl – porer, løbere eller misfarvninger – undgås.

Kategorier af arkitektonisk beton
Overfladekvaliteten af arkitektonisk beton henføres til tre kategorier – afhængigt af de visuelle krav og anvendelsen:

- **Lave krav (BA1)**

Overflader, hvor udseendet har mindre betydning – f.eks. kældervægge eller parkeringskældre.

- **Middelhøje krav (BA2)**

Almindelige synlige overflader – f.eks. trapperum, fælles arealer.

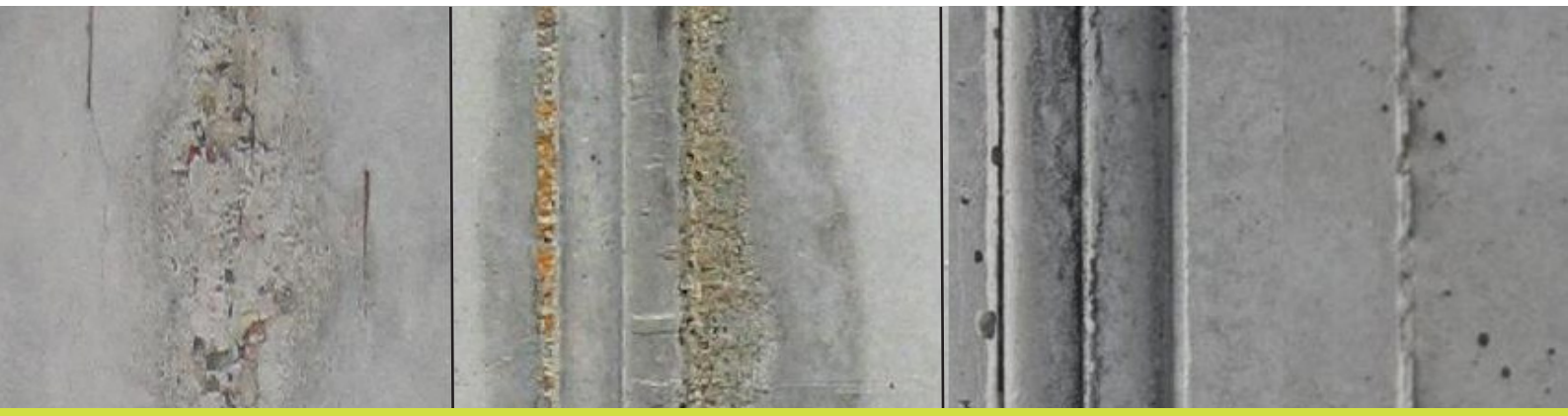
- **Høje krav (BA3)**

Repræsentative bygningsdele – facader og eksponerede vægge indvendigt.

Kategori	Struktur	Porøsitet	Ensartethed i farven	ReferenceelementKategori af formen	Omkostninger
BA1 – Lave krav	F1	P1	RZ1	Frit valg	KD1	Lave
BA2 – Middelhøje kravF2		P2	RZ2	Anbefales	KD2	Middel
BA3 – Høje kravF3		P3	RZ3	Påkrævet	KD3	Høje/meget høje

Tabel 1 – Kategorier af arkitektonisk beton

Detaljerede retningslinjer for hver kategori findes i tabel 1 (ovenfor). Det skal understreges, at disse krav gælder beton, der formes før indbygning, altså gengiver formen. De omfatter hverken overflader, der formes, mens blandingen binder (f.eks. glittning), eller overflader, der bearbejdes efter hærdning.
Der skelnes mellem kanter affaset med en trekantliste og skarpe kanter. Skarpe kanter har som regel en produktionsbetinget radius på ca. 3 mm. Det anbefales at løfte elementerne forsigtigt for at undgå kantskader.
En fuldstændig og omhyggelig udførelse af kanterne bidrager væsentligt til perfekt arkitektonisk beton – idet der skal tages hensyn til betonblandingens konsistens.



Strukturkategori		Beskrivelse
Struktur, samling mellem form-elementer, Afbrydelser	F1	• i høj grad ensartet betonoverflade, • cementpasta/mørtel i samlingerne mellem formelementerne bør ikke overstige: bredde op til ca. 20 mm og dybde op til ca. 10 mm [T1-T3], • aftryk af formelementets ramme tilladt, • forskydninger af plan – højst 10 mm
	F2	• i høj grad ensartet og lukket betonoverflade, • cementpasta/mørtel i samlingerne mellem formelementerne bør ikke overstige: bredde op til ca. 10 mm og dybde ca. 5 mm (T1-T3), • aftryk af formelementets ramme tilladt. • Yderligere krav: • sikre samme type form og samme forberedelse af den, • sikre formens renhed og jævn påføring af formolien, • måden at tætne formsamlingerne på skal fastlægges, • typen af afstandsholdere skal fastlægges, • det anbefales at anvende forme med samme overfladekvalitet, • udførelse af en prøveflade anbefales. • forskydninger af plan ved afbrydelsen – højst 10 mm
	F3	• glat, lukket og i høj grad ensartet betonoverflade, • cementpasta/mørtel i samlingerne mellem formelementerne bør ikke overstige: bredde op til ok.3 mm [T1-T3], • yderligere krav vedrørende f.eks. formsamlinger og rammeaftryk skal fastlægges i detaljer. • Yderligere krav: • som for F2, • en detaljeret projektering af formen er påkrævet (samlinger, tætninger, pladernes placering osv.), • formen skal beskyttes mod vejrpåvirkning, • det anbefales at fastlægge et kort interval mellem opstilling af formen og støbning, • retningslinjer for udførelse af arbejdsfuger skal fastlægges (trapezliste, tilslutningsfuge osv.), • der skal udarbejdes en udførelsesanvisning, • de færdige elementer skal beskyttes (hjørnebeskyttelse, beskyttelse mod tilsmudsning), • forskydninger af plan ved afbrydelsen – højst 5 mm

Tabel 2 – Krav til arkitektoniske betonoverflader, der opnås ved gengivelse af formen

Planforskydning – vandret samling.

Planforskydning – lodret samling.

False

Udførelsen af falsene og deres overfladekarakter skal fastlægges i detaljer (f.eks. vindusfals, vindueskarm, solafskærmning).
Bemærk:
Ved at anvende Zemdrain®-indlæg kan luft ledes bort, og dannelsen af grus-reder begrænses betydeligt,
Husk dog, at et sådant indgreb i en elementfabrik med daglig produktion indebærer stor arbejdsindsats og bør aftales og honoreres særskilt.

Fugebillede og opdeling

Med henblik på en økonomisk udførelse bør den projekterende allerede i konceptfasen overveje bygningsdelenes planlagte eller mulige mål.
Ved montage af betonelementer opstår fuger, hvis bevidste placering kan bruges som et formgivende element – eventuelt kombineret med skinfuger.
Fugebredden afhænger af elementernes mål.
ved store facadearealer er projektering af både vandrette og lodrette fuger nødvendig.
Afhængigt af den ønskede visuelle virkning fremstilles vægelementerne i passende mål. Stødfuger skal forudses i alle bygninger i forhold til væggenes størrelse.

Kategori porøsitet	Beskrivelse
P1	maksimalt poreareal ca. 3000 mm^2 **, ***
P2	maksimalt poreareal ca. 2350 mm^2 **, *** [Fig. 8]. Yderligere krav: • kontrollér samspillet mellem betontype, formolie og elementer, • samme type og forberedelse af formen skal sikres, • formens renhed og jævn påføring af form-olien skal sikres, • udførelse af en prøveflade anbefales.
P3	maksimalt poreareal ca. 1600 mm^2 **, *** [Fig. 9] Yderligere krav: • som for P2, • ændring af betonsammensætningen skal udelukkes, • anvendelse af genbrugsvand og genbrugstilslag skal udelukkes, • udførelse af mindst 2 prøveflader anbefales.

Tabel 3. Overfladens porøsitet
* Areal af porer med diameter Ø i intervallet 2 mm < Ø < 15 mm.
** Poreareal på et standardkontrolareal på 500 mm × 500 mm.
*** Ved anvendelse af sugende form skal det maksimale poreareal sættes til P1 – op til 3000 mm2, P2 – op til 2000 mm2, P3 – op til 1000 mm2.

Farveforskelle

Af tekniske årsager kan betonelementer udvise farveforskelle. Årsagerne hertil er mange. Mange elementfabrikker arbejder i skiftehold, og derfor spiller faktoren „menneske“ med alle sine påvirkninger en stor rolle. Desuden står elementerne forskellig tid i hærdekamre eller på formborde. Afformningstiderne er teknisk set altid forskellige, hvilket kan påvirke overfladens farve. Omgivelsestemperatur, betonblandingens temperatur og formbordenes temperatur påvirker ligeledes nuancen. Jo koldere det er, desto større er risikoen for, at betonoverfladerne bliver plettede eller mørkere.

Formborde, der vedligeholdes ordentligt og holdes rene, afspejles i overfladestrukturer af høj kvalitet. Selv forskellige betonkonsistenser har grundlæggende betydning for slutresultatet. Derfor spiller faktoren „menneske“ og faktoren „udstyr“ en lige så afgørende rolle.
Enhver ændring – uanset om den vedrører cement, tilslag, tilsætningsmaterialer eller tilsætningsstoffer – kan under visse forhold føre til, at overfladens udseende ændres. Formolien har meget stor betydning.
Frem for alt er måden, den påføres på, afgørende for at opnå en ensartet og porefri overflade.

Kategori	Beskrivelse
RZ1	– farveændring og et lysere/mørkere udseende er tilladt, – rust og snavsede løbere er ikke tilladt.
RZ2	• jævne, storflade farveændringer mod lys/mørk er tilladt, • rust og snavsede løbere er ikke tilladt, • forskellige typer formflade (forskellige krydsfinerer) samt forskellige slags færdiggørelsesmaterialer er ikke tilladt. **Yderligere krav:** • som for P3, • betonens blandetid skal fastsættes til mindst 60 sekunder, • der skal forudses et større antal prøveflader.
RZ3	• storflade farveændringer forårsaget af forskellige slags færdiggørelsesmaterialer, forskellige typer formflade samt forskellig slutbehandling af betonen er ikke tilladt, • små farveændringer er tilladt, • rust, snavsede løbere, tydeligt synlige enkelte lag af den indbyggede blanding samt farveændringer er ikke tilladt, • valg af et særligt og egnet formslipmiddel er nødvendigt. **Yderligere krav:** • som for RZ2, • der skal tages højde for, at afformningstiden ændres på grund af forskellige vejr-forhold, • armeringen bør placeres, så stavvibratoren ikke kan komme i kontakt med form og armering, • stederne, hvor blandingen udlægges i formen, skal forudses med lige afstande, • bygningsdelenes geometri og armeringens udformning skal muliggøre en hurtig støbeproces, • v/c skal holdes inden for ± 0,02, eller konsistensen skal holdes nøjagtigt do + 20 mm.

Tabel 3. Krav til arkitektoniske betonoverflader vedrørende farve

Bemærk! Selv med den største omhu og overholdelse af reglerne kan farveændringer i betonen ikke helt undgås!

Bygningsdel / egenskab	KD1	KD2	KD3
Borede huller	Tilladt	Tilladt til reparation	Ikke tilladt
Huller efter søm og skruer	Tilladt	Tilladt uden afskalninger	Tilladt som reparationssteder efter aftale
Skader fra vibratoren	Tilladt	Ikke tilladt eller efter aftale	Utilladeligt
Ridser	Tilladt	Tilladt som reparationssteder	Tilladt som reparationssteder efter aftale
Betonrester	Tilladt i fordybninger uden vedhængende beton	Ikke tilladt	Ikke tilladt
Tilsmudsning med cementpasta	Tilladt	Ikke tilladt	Ikke tilladt
Folder, rynker i krydsfineren (ripplings)	Tilladt	Ikke tilladt eller efter aftale	Ikke tilladt
Lokale reparationer	Tilladt	Tilladt	Ikke tilladt eller efter aftale
Referenceelement	Valgfrit	Udførelse anbefales	Udførelse påkræ

Tabel 5. Formkategorier

* Alle reparationer af formen skal udføres af kvalificeret og kompetent personale, og formen skal kontrolleres før brug

Sømaftryk i krydsfineren

For i videst muligt omfang at undgå afvigelser skal betonen være stabil. Den må hverken separere eller afgive vand. For betonens robusthed har et passende cement- og bindemiddelindhold meget stor betydning. Betonens konsistens må under ingen omstændigheder ændres ved tilsætning af ekstra vand. Hvis den vandmængde, der er angivet i recepten, ikke er tilstrækkelig til at opnå den krævede konsistens, skal betonen fremstilles med egnede tilsætningsstoffer. Robust og stabil beton er den grundlæggende forudsætning for vellykket arkitektonisk beton.

Bestilling – oplysninger, der er nødvendige for et godt resultat

I udbudsfasen er detaljerede anbefalinger og god praksis en værdifuld hjælp ved planlægning og præcisering af kravene til arkitektonisk beton. Anvisningerne heri hjælper med at undgå typiske fejl og misforståelser mellem projekterende og udførende. Nedenfor følger de vigtigste oplysninger, som bør indgå allerede ved udarbejdelsen af den tekniske beskrivelse:

- Ru og strukturerede overflader af arkitektonisk beton har betydeligt mindre tendens til skydannelse, marmorerede misfarvninger og mikrorevner.
- Fuger, der deler elementerne, og skinfuger kan fungere som formgivende elementer på overfladen.
- Det anbefales at affase elementernes kanter, hvilket mindsker risikoen for afskalning under transport og montage.
- For overflader, der udsættes for vejrliget, skal vejrets indflydelse ubetinget indregnes – blandt andet ved kontrolleret afledning af regnvand og ved hydrofobering, der forhindrer ophobning af snavs og dannelse af løbere.

I udbudsmaterialet er et generelt krav om „arkitektonisk beton“ ikke tilstrækkeligt. For at opnå det forventede visuelle og kvalitetsmæssige resultat skal der udarbejdes en entydig og praktisk gennemførlig beskrivelse af arbejdsomfanget. Beskrivelsen bør blandt andet omfatte:

Valg af kategori af arkitektonisk beton i henhold til klassifikationen BA1, BA2 eller BA3:

- BA1 – lave krav (f.eks. kælder- og parkeringskældervægge),
- BA2 – middelhøje krav (f.eks. trapperum, fællesarealer),

- BA3 – høje krav (facader og repræsentative overflader).

Angivelse af de krævede overfladeparametre i henhold til tabellerne:

- struktur (F1, F2, F3),
- porøsitet (P1, P2, P3),
- farveensartethed (RZ1, RZ2, RZ3).

Nøjagtige retningslinjer for formen – herunder formkategori (KD1–KD3), udførelse af form-samlinger, placering af huller efter bindere og søm samt tilladte overfladereparationer.

Udførelsen af den uformede overflade, hvis en sådan findes, samt krav til kanterne (f.eks. skarpe kanter kræver større arbejdsindsats og skal beskrives særskilt i materialet).

Pligten til at udføre en prøveflade og et referenceelement, som godkendes, inden den egentlige produktion påbegyndes, og som udgør referencen ved afleveringen.

Forme

Formen er elementteknologiens grundlæggende element og former direkte og afgørende udseendet af den arkitektoniske betonoverflade. Formens kvalitet, forberedelse og anvendelse har afgørende betydning for det forventede æstetiske og tekniske resultat.

Formtype og overfladestruktur

Betonelementer fremstilles oftest i følgende forme:

- stål – glatte og ikke-sugende, som giver ensartede, lukkede overflader med tydeligt aftryk af formen,
- træ – som giver en mere naturlig tegning og en subtil struktur,
- matrice – som gør det muligt at gengive strukturmønstre (f.eks. riller, striber, geometriske motiver).

Formtypen bestemmer direkte elementoverfladens struktur og er en af de vigtigste faktorer for betonens visuelle karakter.

Formens tilstand og forberedelse

Formfladen skal være helt ren, fri for betonrester og skader. Selv små urenheder, ridser eller spor af tidligere arbejder kan give misfarvninger, striber og uønskede aftryk.

Inden støbningen påbegyndes, skal man:

- kontrollere tilstanden af alle formplader,
- kontrollere samlingernes tæthed,
- påføre en egnet formolie i et ensartet lag,
- beskytte overfladen mod for kraftig opvarmning eller nedkøling.

Formens indflydelse på farve og struktur

Glatte stålforme giver en meget jævn overflade, men kan samtidig fremhæve de mindste farveforskelle. Selv under identiske produktionsforhold kan betonoverflader i glatte forme udvise:

- let variation i nuancen,
- marmorerede misfarvninger,
- forskelle som følge af betonens binding og hærdning.

Ved matriceform dominerer overfladens struktur visuelt over nuancen, hvilket gør farveforskelle mindre synlige.

Formaftryk og formfuger

Formsamlingernes kvalitet har væsentlig indflydelse på aftrykket af opdelinger, samlingslinjer og eventuelle planforskydninger:

- de tekniske fugers bredde og dybde skal begrænses i overensstemmelse med kategorien af arkitektonisk beton (f.eks. til 3 mm i den høje klasse BA3),
- alle spalter bør tætnes omhyggeligt for at undgå udsivning af cementpasta,
- matricernes og samlingernes overflader bør projekteres, så der opnås et æstetisk resultat i overensstemmelse med den arkitektoniske idé.

Fig. 3.2 „Levende“ beton forårsaget af separation i blandingen

Farveensartethed

Beton med glat overflade fra formen er med alle sine uregelmæssigheder ikke sammenlignelig med en malet overflade – det er „levende“ beton. Større farveensartethed på overfladen kan opnås gennem lyse, strukturerede eller bearbejdede overflader (f.eks. let udvaskning, syreætsning, slibning osv.).

Formede og uformede overflader

Den formede overflade (i kontakt med formen) har større ensartethed og gentagelighed i strukturen end den uformede overflade (siden, hvor blandingen fyldes i).

For arkitektoniske elementer af høj kvalitet er følgende afgørende:

- formtypen,
- måden, blandingen komprimeres på,
- tidspunktet for afformning.

Vedligeholdelse og brug af forme

Gentagen brug af forme kræver systematisk vedligeholdelse:

- rengøring af arbejdsfladerne,
- fjernelse af rust og urenheder,
- kontrol af samlingernes tæthed og tekniske tilstand.

Manglende pleje af formen medfører ringere overfladekvalitet og synlige fejl, hvis reparation ofte ikke er mulig uden at forringe det visuelle resultat.

Formolie

Formolier (slipmidler) tjener følgende formål:

- optimal adskillelse af form og beton,
- fejlfri gengivelse af formens overflade,
- vedligeholdelse og beskyttelse af formmaterialet,
- forebyggelse af pletter og marmorerede misfarvninger,
- undgåelse af afsanding samt kalkudblomstringer,
- lettere frigørelse af luftbobler,
- ingen negativ indflydelse på vedhæftningen af malingslag, puds, klæbestoffer osv.

Påføring af formolie

Ved valg af formolie skal samspillet mellem form og beton iagttages. Formproducenternes anbefalinger er her til stor hjælp.
Der findes forskellige typer formolier: opløsningsmiddelholdige og opløsningsmiddelfrie (begge på mineraloliebasis) samt olie-i-vand-emulsioner.
Erfaringen viser, at de bedste resultater i arkitektonisk beton opnås, når der påføres så lidt formolie som muligt, og overskuddet trækkes af med en gummiskraber eller – endnu bedre – tørres af med en klud.
Hvis formolien påføres med dyse (fig. 4.1), skal dysen forstøve den fint for at sikre en jævn dækning. Korrekt indstillet tryk og egnede dyser er af afgørende betydning.
Overflader, der er dækket med for meget formolie, kan udvise tydelige misfarvninger i brungule toner (fig. 4.6) samt kraftige porer eller afsanding. Overskydende formolie forbliver tydeligt synlig på betonoverfladen.
Korrekt påføring af midlet og aftørring af overfladen med en klud giver en betonoverflade med få porer.

Fig. 4.1. Påføring af formolie

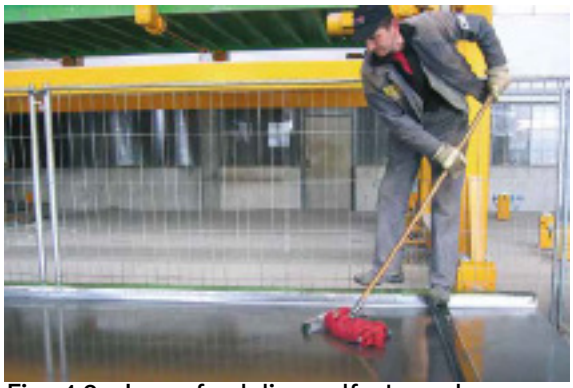


Fig. 4.2. Jævn fordeling udført med en klud

Fig. 4.3
Bemærk, fodspor forbliver synlige

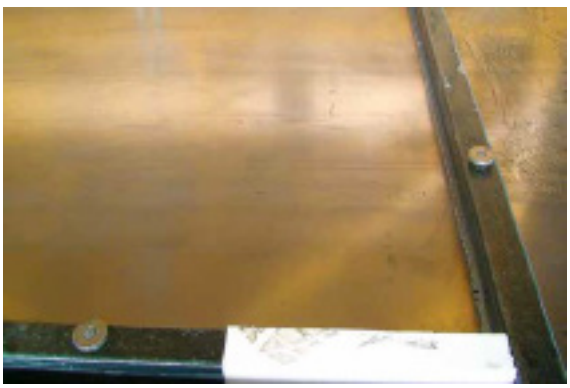


Fig. 4.4
Overflade korrekt dækket med midlet

Afluftningstid

Markedets aktuelle udbud giver brugeren en række forskellige formolier.
Ud over de klassiske formolier, som er klar til brug straks efter påføring på formfladen og ikke kræver afluftningstid, findes mange produkter, hvis slipegenskaber først udvikles efter et vist tidsrum.
Til denne gruppe hører alle opløsningsmiddelholdige produkter samt emulsioner, hvis slipvirkning først stabiliseres, når opløsningsmidlet er fordampet.
De relevante afluftningstider er normalt angivet i producentens tekniske datablade eller på emballagen og skal ubetinget overholdes.
Ved lave temperaturer, høj luftfugtighed og for kraftig påføring kan de forlænges betydeligt.
Under alle omstændigheder skal slipfilmens tilstand kontrolleres før støbning.
Da elementer for størstedelen produceres på stålborde, er ikke blot slipvirkningen vigtig, men også formens korrosionsbeskyttelse.
Ved forkert valg af formolie kan der opstå korrosion, især de steder, hvor betonen
– som følge af udtørring – begynder at slippe formfladen.
På disse steder dannes kondens, som kan føre til korrosion.
Processen kan yderligere forstærkes af temperaturen i hærdekammeret.
Rustdannelse afhænger normalt af mange faktorer.
Afgørende er den rette tilpasning mellem formolie, beton og stålbord.

En formolie med stærkt korrosionsbeskyttende egenskaber kan til gengæld give aflejringer på stålbordet, som kan føre til, at betonoverfladen river sig løs.

Det er hensigtsmæssigt at gennemføre forsøg med forskellige formolier.

I sidste ende kræves en præcis tilpasning af formolien til formbordet, betonblandingen og omgivelsesforholdene.

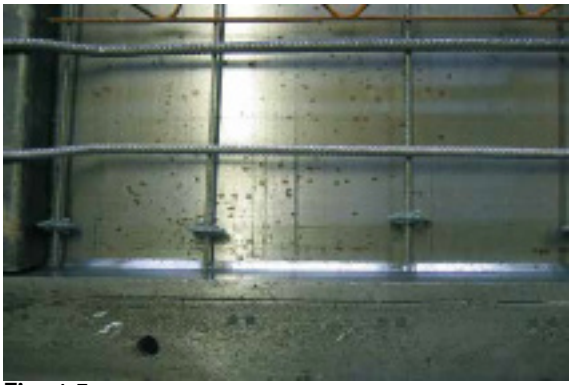


Fig. 4.5
Rust på stålborde

Fig. 4.6
Misfarvninger forårsaget af overdosering af formolie

Fig. 4.7
Løsrivelser på betonoverfladen

Fremstilling og lagringstid

Produktionsproces

Mange elementproducenter arbejder på såkaldte cirkulationslinjer. Sådanne som regel fuldautomatiske produktionslinjer sikrer normalt altid det samme procesforløb. Stålbordet rengøres, og robotter påfører positionsmarkeringer for forme og indstøbningsdele, hvorefter formene stilles op. Derefter påføres formolien – maskinelt eller manuelt. Næste trin er udlægning af armering og støbning. Betonen komprimeres med ydervibratorer eller med vibrations- og rysteteknik. En kombination af disse metoder er også mulig. At forskellige sjak udlægger betonblandingen kan påvirke betonens og betonoverfladens kvalitet.

Lagringstid

Opbevaringen af elementerne under hærdningen (lager, hærdekammer osv.) varer forskellig tid – afhængigt af, om fabrikken arbejder i et, to eller tre skift. Hvis der fremstilles vægge om morgenen, afformes de som regel om eftermiddagen. Elementer, der støbes om eftermiddagen, har længere hærdetid. Følgelig kan forskellige lagringstider give farveforskelle på betonoverfladen. Ofte anvendes til produktion med kortere lagringstid en anden betonrecept, som hurtigere opnår tidlig styrke. Det medfører forskellige cementindhold og forskellige vandcementtal, hvilket påvirker betonens farve.

Indflydelse af temperaturforskelle

Også lufttemperaturen påvirker overfladens nuance. Fremstilles et element om sommeren, er dets farve som regel lysere og mere ensartet end ved vinterproduktion. Stålbordenes indflydelse på betonens farve, marmoreringen og formoliens virkning er i høj grad temperaturafhængig. Også formoliernes virkning er følsom over for temperatur.

Temperaturens indflydelse – sammenfatning:

- Stålbordet efterlader ved forskellige temperaturer forskellige visuelle effekter på betonoverfladen
- Betonens binding forløber forskelligt afhængigt af temperaturen
- Formolier reagerer temperaturafhængigt
- Ved lave temperaturer aftegner armeringen i betonen sig tydeligt på overfladen
- Ved koldt tilslag kan grovere korn aftegne sig mørkt på betonoverfladen
- Ved lave temperaturer forlænges betonens lagringstid
- Tilsætningsstoffernes virkning (FM/BV) er forskellig afhængigt af temperaturen

Fig. 5.1
Cirkulationslinje

Fig. 5.2
Groft tilslag aftegner sig på overfladen

Fig. 5.3
Armeringen aftegner sig

Fig. 5.4
Ubeskyttet oplagring: vandspor

Armeringen aftegner sig

Mulige årsager til dette fænomen er:

- for store temperaturforskelle mellem betonen og armerings-nettet
- for intensiv komprimering af betonblandingen
- tilsmudsning af overfladen som følge af længere lagringstid
  Sådanne visuelle effekter skyldes normalt ikke utilstrækkeligt dæklag.

Fig. 5.5
Beskyttet oplagring i hal

Oplagring

Betonelementer oplagres efter tørring i hærdekammeret ofte direkte under åben himmel. Under sådanne forhold er der risiko for betydelige revner forårsaget af for store temperaturforskelle og af, at elementerne tørrer ud. Desuden kan nedbør give udblomstringer på frisk beton.
Det anbefales derfor at beskytte betonelementerne mod udtørring, nedkøling og fugt.

Fig. 5.6
Farveforskelle forårsaget af

Læsning

Betonelementer bør først læsses og transporteres, når tilstrækkelig styrke er opnået.
I nogle tilfælde læsses og transporteres elementerne umiddelbart efter afformning. Hvis deres styrke endnu ikke er tilstrækkelig høj, kan det føre til revner.

Beton-„kosmetik“

Under transport, montage på byggepladsen eller opstilling kan elementerne blive delvist beskadiget. Sådanne skader udbedres normalt på stedet af en specialist i betonkosmetik. De udbedrede steder forbliver synlige, især på elementer af gennemfarvet beton. Farveforskelle mellem den oprindelige betonoverflade og de udbedrede steder kan ikke undgås.

Mange muligheder
for at forme overfladen

Matricer
Med strukturmatricer, der lægges i formen, kan næsten enhver overfladestruktur og/eller opdeling af overfladen opnås. På den måde opstår betonoverflader med ensartet udseende og forholdsvis få porer. Marmorering og skydannelse er praktisk talt elimineret. Desuden giver overfladestrukturen, gennem spillet mellem lys og skygge, hele den synlige flade større optisk ensartethed. Ved planlægningen skal elementernes mål tilpasses de tilgængelige matriceformater. Om nødvendigt skal fugerne, hvor matricerne mødes, projekteres i samråd med producenten. Mulighederne spænder fra overflader, der efterligner brædeform, til billeder skabt af overfladens skyggevirkning.

Overfladebearbejdning
Når elementet er hærdnet og kan afformes, findes forskellige metoder til efterfølgende at forme betonoverfladen.
Det krævede dæklag skal dog ubetinget overholdes.

Fin udvaskning
Det øverste lag cementpasta fjernes i 1–2 mm dybde, hvilket giver overfladen en struktur, der ligner sandsten. Afhængigt af afrensningsdybden påvirker både cementpastaen og tilslaget farven.

Grov udvaskning
De grove tilslagskorn blotlægges næsten til det halve (mere end 2 mm). Resultatet er en meget ru, grovkornet overflade, kaldet vasket beton. Den dominerende farve gives af tilslaget. Overfladen skabes ved at påføre en retarderpasta på den friske beton og fjerne det retarderede lag med en vandstråle.

Den dominerende farve gives af tilslaget.
Overfladen skabes ved at påføre en retarderpasta på den friske beton og fjerne det retarderede lag med en vandstråle.

Syreætsning
Fjernelse af det øverste cementpastalag med syre blotlægger tilslagskornene let. Afhængigt af ætsedybden fremstår overfladen moderat ru.

Højtryksvandstråle
Bearbejdning af hærdnet betonoverflade med vandstråle foregår på samme måde som fin udvaskning, blot uden retarderpasta. Afhængigt af

vandstrålens intensitet opstår overflader med forskellig grad af ruhed.

Sandblæsning
Sandblæsning giver en effekt svarende til fin udvaskning. Desuden mattes tilslagskornene og mister deres glans. Overfladen bliver mat og ru. Bearbejdningsdybden kan tilpasses kravene.

Flammebehandling
Under en flamme på ca. 3000 °C smelter det øverste cementpastalag, og tilslagskornene revner og skaller af. Resultatet er en meget ru og stærkt opbrudt betonoverflade.

Slibning og polering
Hvis overfladen kun slibes let, og tilslagskornene knap ses, forbliver cementens farve dominerende. Ved dybere slibning, så tilslagskornene bliver tydeligt synlige, giver tilslaget den dominerende farve. I begge tilfælde bliver overfladen meget glat og blank. Yderligere polering øger overfladens glans endnu mere.

Vasket overflade

Sandblæst overflade

Syreætset overflade

Gennemfarvet beton

Gennemfarvede betonoverflader

Ud over overfladebearbejdning kan også farven være et formgivende element i betonen. Til meget lys beton anvendes normalt hvid cement, som med pigmenter tilsat i henhold til DIN EN 12878 gør praktisk talt enhver farve mulig. Farvningen kan yderligere forstærkes med farvet tilslag. Beton med grå cement kan også farves, men resultatet er mindre udtryksfuldt og mindre mættet. Mørkere nuancer opnås lettere netop med grå cement. Farvens intensitet afhænger af pigmentets dosering og kvalitet. Pigmenter kan tilsættes i pulverform eller flydende.

Anvisninger for produktionen:

- Ved brug af hvid cement skal cementsiloen, blanderen og alt udstyr, som betonen fremstilles og transporteres med, rengøres grundigt, inden produktionen påbegyndes.
- Vær opmærksom på lagringstiden – alle elementer bør stå lige længe på formbordet (eller i hærdekammeret).

- Støb så vidt muligt i tørt og varmt vejr – da er risikoen for udblomstringer og misfarvninger betydeligt mindre.
- Sørg for, at overfladevandet fordamper, og anvend om nødvendigt hydrofobering.
- Farvede overflader beskyttes bedst med en lasur.
- Beskyt elementerne mod nedbør.
- Udfør prøveflader for at vurdere farven og det samlede visuelle indtryk.
- Sørg for størst mulig konstans i råvarerne samt ensartethed under produktion og bearbejdning.

Selv med den største omhu fra producent og udførende kan der optræde nuanceudsving eller hvide udblomstringer.

Hydrofobering

For grå, farvede og især mørke betoner, der udsættes for vejrliget, anbefales hydrofobering for at mindske tilbøjeligheden til udblomstringer.

Overfladebeskyttelse

En pigmenteret lasur kan anvendes for at gøre betonoverfladernes udseende mere ensartet. Med lasur kan praktisk talt enhver farve opnås, og hele betonoverfladen får en ensartet nuance. Teknikken gør det også muligt enkelt og pænt at dække reparationssteder i samme farve. Betonens struktur forbliver synlig, overfladen får ingen glans, og væggene bevarer materialets karakter, samtidig med at de bliver mere ensartede i farven. Illustration 6.17 til 6.20 viser eksempler på brug af pigmenterede lasurer. Belægningen kan påføres både på fabrikken og senere på byggepladsen.

Lasuren beskytter desuden elementerne mod vand, olie- og fedtbaseret tilsmudsning samt mod graffiti. Forskellige producenter tilbyder egnede produkter og påføringsteknologier.

Beskyttelse og forebyggelse
Til de særlige tiltag, der udføres på fabrikken på præfabrikerede betonelementer, hører overfladebehandlinger, der har til formål at beskytte og bevare kvaliteten mod ydre påvirkninger (f.eks. vejrlig eller graffiti).

I princippet kan beskyttende belægninger påføres på ethvert tidspunkt i brugsfasen, men for arkitektonisk beton beregnet til udendørs brug anbefales det, at beskyttelsen udføres allerede på fabrikken – før levering og montage af elementerne.

Typer af beskyttende tiltag:

Hydrofobering
Det er et tiltag, hvor betonoverfladen behandles med et flydende, vandafvisende middel på silanbasis.
Det danner ikke en film, men trænger ind i betonens overfladenære poresystem. Derved hæmmes kapillær opsugning af vand, og transporten af fugt og skadelige stoffer ind i betonen samt migrationen af opløste mineraler (f.eks. frit kalk) til overfladen begrænses.
Hydrofobering er let at påføre, og virkningen kan holde i op til 10 år.

Lasurer
De trænger ind i betonens overfladenære struktur på samme måde som hydrofobering, men danner ikke et lukket laklag. De er som regel usynlige. Hidtidige erfaringer viser, at lasurer er mere arbejdskrævende at påføre, men betydeligt mere holdbare og mere effektive til at beskytte overfladen mod ydre faktorer.
Udblomstringer, vejrbetingede materialetab og vækst af mikroorganismer (alger, laver, mos) begrænses i høj grad. For arkitektonisk beton, især farvede og bearbejdede overflader, er lasuren i dag teknisk standard for overfladebeskyttelse. Farvede lasurer påføres bedst efter montage af elementerne på byggepladsen, hvilket gør det muligt samtidig at dække reparationsstederne.

Systemer til graffitibeskyttelse
Det er del- eller helfladebelægninger, som efter påføring af graffiti kan fjernes med damp eller højtryksvandstråle. Efter fjernelse af den beskyttende belægning kræver de fleste systemer, at den påføres på ny. Belægningerne er mere eller mindre synlige – de kan virke „fedtede“ eller mat blanke og ændrer overfladens nuance. På grund af omkostningerne og den visuelle virkning anvendes de hovedsagelig på overflader, der er særligt udsatte for graffiti.

Transport
montage

Generelt
Transporten af betonelementer fra fabrikken til byggepladsen og deres montage i den endelige position i bygningen er obligatoriske organisatoriske processer ved byggeri med elementer. Derfor skal alle arbejder, handlinger og trin i denne proces samt elementets efterfølgende „stoppesteder“ frem til montagen analyseres og planlægges særligt omhyggeligt ved elementer med høje arkitektoniske krav. Enhver oplagring og flytning af et element indebærer risiko for skade eller tilsmudsning.

Inden produktionen af elementerne påbegyndes, skal følgende fastlægges:
- hvordan elementerne efterbehandles på fabrikken og oplagres frem til afsendelse,
- hvordan arkitektoniske overflader af høj kvalitet beskyttes under læsning, transport, aflæsning og montage på byggepladsen.

Hvis der planlægges midlertidig oplagring af elementerne på byggepladsen, skal de samme forhold tages i betragtning og organiseres som ved oplagring på fabrikken.

For at beskytte kvaliteten er det værd på forhånd sammen med alle projektdeltagere at gennemgå, hvordan elementerne skal håndteres i hver fase.

Transport

Afgørende er ikke blot måden at oplagre på fabrikken, men også oplagringen under transporten til byggepladsen.
Hvis elementerne stables, kan de mellemlæg af træ eller plast, der bruges til at adskille dem, aftegne sig på overfladen.
Solstråling eller regn kan give farveforskelle på betonoverfladen omkring vinduesåbninger og nicher.
For eksempel kan omridset af en vinduesåbning aftegne sig som et lysere spor på det underliggende element.

Montage

Præfabrikerede vægge stilles normalt op med kran. De montagehylstre, der er beregnet til løft af elementerne, forbliver delvist synlige. Ved ukorrekt håndtering af elementerne kan der opstå skader, afskalninger og revner.
Risikoen for skader er særlig stor ved opstilling af elementerne, og snavsede hånd- og skoaftryk efterlader varige spor. Der må ikke lænes genstande op ad væggen, og der må ikke laves markeringer for de efterfølgende fag på betonoverfladen. Vægge af arkitektonisk beton skal mærkes med informationsskilte. Generelt anbefales det at beskytte betonvægge mod tilsmudsning – f.eks. på fabrikken ved hydrofobering eller ved afdækning med folie.

Reparationer
af beton på byggepladsen

Generelt
Ved kosmetisk bearbejdning af arkitektoniske betonoverflader, der afviger fra kravene, udviser fejl eller er blevet beskadiget, skelnes i dag mellem to typer tiltag:

- Kosmetiske reparationer udført af elementproducenten eller den udførende virksomhed. Sådanne arbejder er normalt tilstrækkelige til at afhjælpe tekniske skader på bygningsdele eller små, begrænsede æstetiske afvigelser. Sådanne reparationssjak når dog ofte hurtigt grænsen for deres formåen.

- Kosmetisk bearbejdning af arkitektoniske betonoverflader af specialiserede virksomheder. I dag leveres kosmetiske korrektioner af meget høj kvalitet oftest af velkvalificerede konservatorer og kunstmalere, som takket være stor kunstnerisk kunnen udfører sådanne ydelser.

For blot få år siden blev mange typer afvigelser i arkitektoniske betonoverflader ud fra de kontraktlige krav betragtet som „ikke reparerbare“. Takket være fremkomsten af virksomheder, der tilbyder en helt ny kvalitet inden for betonkosmetik, findes der i dag kun en lille gruppe defekter eller fejl, som ikke kan korrigeres.

Selv om en kvalificeret overfladereparation udført af en specialiseret virksomhed betydeligt udvider mulighederne for at forbedre den arkitektoniske betons udseende, kan den også være bekostelig og bør derfor begrænses til mindst mulige partier.

Reparationssteder
Ved montage af elementer med kran opstår der ofte skader på elementerne. Det kan skyldes ukorrekt håndtering eller tilfældige hændelser på byggepladsen. Sådanne skader udbedres derefter mere eller mindre fagligt korrekt. Normalt anvendes spartelmasse hertil. Dens farve svarer oftest ikke til betonens, hvorfor reparationsstedet som regel forbliver synligt. I mange tilfælde falder skaden mere i øjnene efter reparationen, end hvis den var forblevet urørt. Også evnen til at optage fugt og ældningen af sådanne reparerede steder er normalt anderledes end i den oprindelige beton.

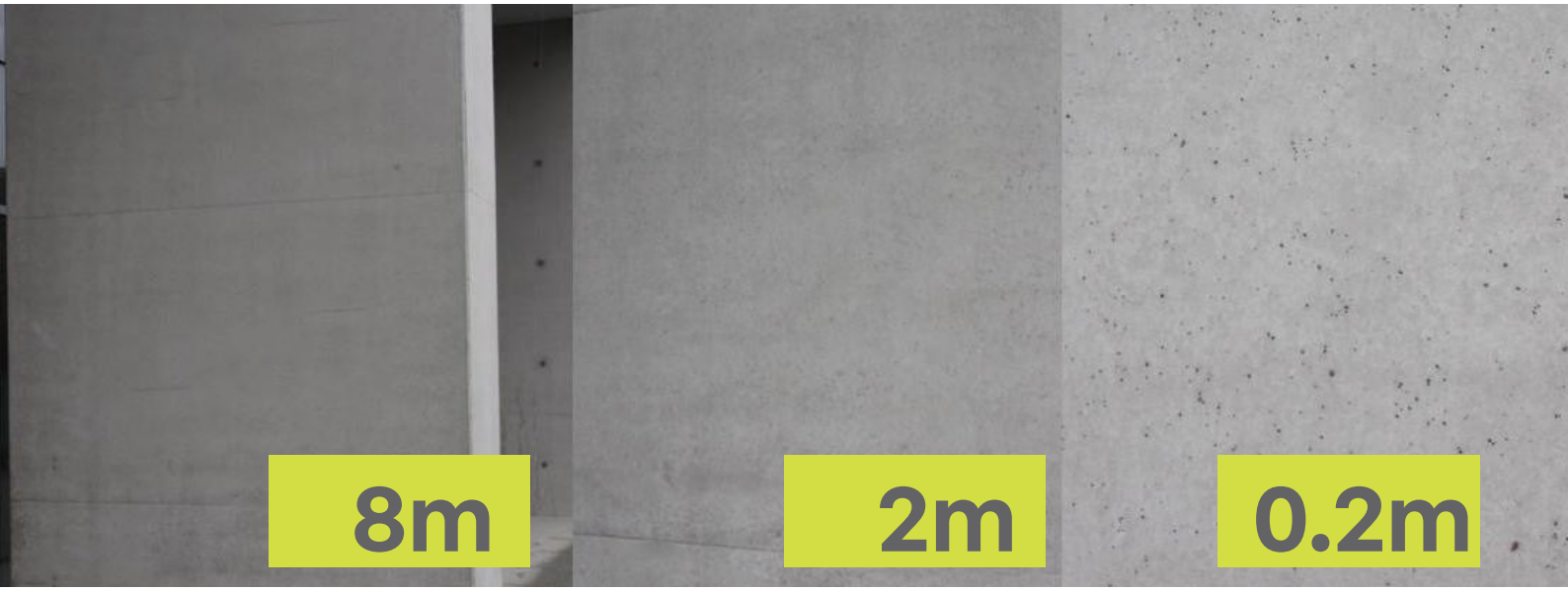
Prøveflader
For at kontrollere farve og spartlingskvalitet skal der udføres en prøveflade, inden det egentlige element repareres. En sådan prøveflade fungerer samtidig som referenceflade for bygherren – på grundlag af den kan denne afgøre, om reparationsmetoden accepteres. Derved kan kvaliteten af reparationsarbejdet også vurderes på forhånd. I alle tilfælde anbefales det, at reparationer udføres fagligt korrekt, omhyggeligt og rent, da det ved aflevering af arkitektoniske betonoverflader ofte netop er sådanne reparationssteder, der er afgørende for den endelige vurdering.

Aflevering af overfladen
til arkitektonisk beton

Betragtningsafstand

Det er overordentlig vigtigt at vurdere arkitektonisk beton fra den aftalte betragtningsafstand.

En meget hyppig fejl ved aflevering af overflader er, at betragteren stiller sig på **kort afstand** af den konstruktion, der vurderes



Forskellige afstande til betragtning og vurdering af beton.

Hver bygningsdel bør vurderes fra den afstand, der er forudsat som normal for den senere bruger. Bygningsdele indendørs vurderes fra en anden afstand end facader. Den rette afstand er den, der gør det muligt optisk at overskue hele bygværket eller dets væsentlige dele. Er der tale om en bygning, anses den rette afstand for at være den, hvorfra bygningen ses i sin helhed. Drejer det sig om en bygningsvæg, bør afstanden tillade, at hele væggen betragtes.

Lysforholdene er afgørende. Afleveringen skal foretages i dagtimerne, men uden direkte sollys. Aftenlys, der kaster skarpe skygger, gør ufuldkommenheder tydeligere. Også på fugtige, regnfulde dage giver facadeoverfladen et andet visuelt indtryk.

Generelle principper for aflevering

Ved vurderingen skal man huske, at hvert element er fremstillet under forskellige vejrforhold, og at der kan have været forskelle i kvaliteten af de anvendte materialer (inden for det forudsatte tilladte område). Små forskelle i struktur, porøsitet eller farve er tilladt i hver af de beskrevne kategorier af arkitektonisk beton. Derfor er der behov for en individuel vurdering af hver enkelt bygningsdel

Vurderingens rækkefølge

Først skal helhedsindtrykket fra den aftalte betragtningsafstand vurderes og resultatet sammenholdes med referenceelementets udseende. Først når helhedsbilledet ikke svarer til kravene, skal de enkelte parametre vurderes.

For aflevering af overfladen defineres følgende principper:
- Helhedsindtrykket er vigtigere end et enkelt kriterium.
- Der skal anvendes en passende betragtningsafstand og typiske lysforhold.
- For en bygning: den afstand, der gør det muligt optisk at overskue hele bygværket i dets væsentlige dele.
- For bygningsdele: den afstand, en betragter normalt indtager, eller den brugsafstand, der følger af normal anvendelse af bygværket.

Arkitektoniske betonoverflader – krav ved aflevering

Ved vurdering af overfladen er helhedsindtrykket set fra den typiske betragtningsafstand afgørende. Enkelte kriterier vurderes kun, når overfladens helhedsindtryk ikke svarer til de aftalte krav.

Tilladte afvigelser i overfladens udseende:
- små strukturforskelle på bearbejdede betonoverflader,
- skydannelse, marmorering og små farveforskelle,
- ansamlinger af porer,
- afstandsholdere og armering, der aftegner sig,
- mørke striber og små udblomstringer ved formelementernes samlinger,
- et lille antal og et lille areal af løbere fra nedløbende vand,
- enkelte kalkstriber og udblomstringer,
- kantskader ved udførelse af skarpe kanter,
- små deformationer af overfladen.

Krav, der teknisk er umulige at opnå eller ikke kan sikres fuldt kontrolleret:
- ensartet farvenuance på alle synlige flader på bygningen,
- overflader helt uden porer,
- homogen porestruktur (ensartet størrelse og fordeling af porer),
- overflade uden mikrorevner.

Vurderingskriterier
Vurderingen af arkitektoniske betonoverflader bør bygge på objektive og så vidt muligt målbare kriterier under hensyntagen til den betragtningsafstand, der følger af bygningens mål. Korrekt udført reparationsbearbejdning er tilladt.

Uformede overflader af arkitektonisk beton
Overflader bearbejdet i hånden udviser synlige spor af bearbejdningsteknikken og kan være kendetegnet ved skydannelse og farveforskelle.

Vurdering af revner
Armeret beton er en konstruktion, hvor revnedannelse er en materialeegenskab og ikke helt kan undgås. En æstetisk vurdering af revner er kun mulig, hvis der i bygge- eller leveringskontrakten er formuleret konkrete krav herom. I modsat fald vurderes revner efter de generelle tekniske kriterier for armerede betonkonstruktioner.

Som uskadelige betragtes revner med en middelbredde på:
- 0,3 mm i udvendige bygningsdele,
- 0,4 mm i indvendige bygningsdele.

formee

ul. Zakaszewskiego 7
66-300 Międzyrzecz
tel. 95 740 21
info@formee.pl