Modell: Bjørnar Hamstad

PLASSTØPTE FLATDEKKER

– en fremtidsrettet løsning for moderne bygg

Tekst: Bjørnar Hamstad i samarbeid med Bjørn N. Sandaker

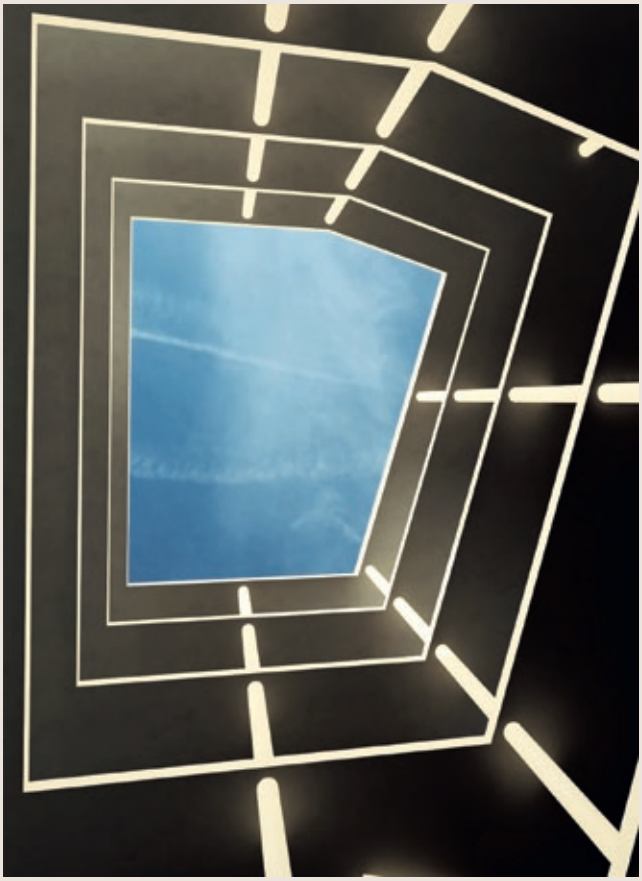
Betong har i over et århundre vært et uunnværlig byggemateriale.
Utviklingen av nye konstruksjonsmetoder og teknologier gjorde at betongen fikk nye og mer effektive anvendelser.
En av de mest effektive konstruksjonsmetodene i moderne bygg er plasstøpte flatdekker.

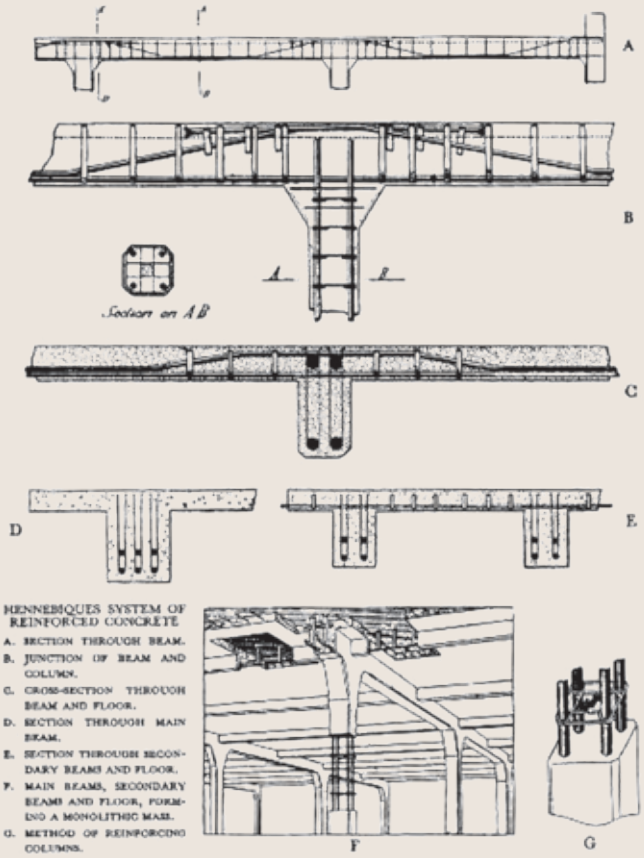
Bjørnar Hamstad,
sivilingeniør konstruksjon, seksjonsleder konstruksjon Multiconsult Trondheim.

Arbeider i tidligfase og utvikling av prosjekter og detaljprosjekterer i stål, tegl, tre og betong. Innen betong med effektive løsninger med fiber og med etteroppspenning. Er hobbyarkitekt og elsker å bygge, gjenbruke og designe.

Bjørn Normann Sandaker, dr.ing.
Professor (em.) ved NTNU og AHO.

Sandaker har arbeidet i flere tiår med undervisning og forskning i arkitektur og konstruksjon, og har et stort antall publikasjoner innen dette feltet.





Hennebiques system for armert betong muliggjorde betongkonstruksjoner som kan oppta store strekkspenninger, noe som igjen muligjorde større spennvidder og la grunnlaget for utviklingen av støpte flatdekker

– Hva er en flatdekkekonstruksjon?

En flatdekkekonstruksjon er et betongdekke som støpes uten synlige bjelker, som en jevn, flat plate. Man får en himling uten nedstikkende bjelker eller andre synlige konstruksjonselementer. Dette gir større frihet i arkitektur og innredning.

Her ser vi nærmere på hvordan støpte flatdekker fremmer arkitektonisk frihet, konstruksjonseffektivitet og byggeiers fleksibilitet. Vi presenterer også de historiske pionerene som har vært avgjørende for utviklingen av flatdekker.

Pionerene

Utviklingen av flatdekkekonstruksjonen er et resultat av flere ingeniørers innovative arbeid, særlig ved begynnelsen av 1900-tallet. Tidlig ute med patenter på flatdekker var de amerikanske ingeniørene Orlando Norcross (1902) og C.A.P. Turner (1908). Mer kjent er likevel sveitseren Robert Maillart med et patent fra 1909, som testet systemet og bygget lagerbygninger etter dette prinsippet i årene rundt 1910–1912.

På arkitektsiden var det særlig den sveitsisk/franske arkitekten Le Corbusier som så de arkitektoniske mulighetene ved å benytte dekkekonstruksjoner uten underliggende bjelker. En del senere har vi den italienske ingeniøren Pier Luigi Nervi, som nytolket flatdekket ved ytterligere å fjerne overflødig betong, og derved skapte et effektivt og ekspressivt ribbesystem på undersiden. Dette bryter imidlertid med den rene, homogene flaten og er mest anvendelig i større rom uten ikke-bærende skillevegger.

Alle de nevnte pionerene har hatt en betydelig påvirkning på hvordan vi i dag anvender betong i konstruksjoner. Men den som satte det hele i gang, og som først forsto armerte betongkonstruksjoner på en måte vi gjenkjenner i dag, var den franske ingeniøren François Hennebique. Hans patenterte system var imidlertid basert på søyler, bjelker og dekkeplater, ikke ulikt den tradisjonelle tømmerkonstruksjonen.

François Hennebique (1842-1921)

kan kalles den moderne betongkonstruksjonens far.
Han var en fransk ingeniør og pioner innen armeringsteknologi og en særdeles viktig figur i utviklingen av betongkonstruksjoner.

Hennebique er kjent for å ha forstått at man ved riktig armeringsføring kan sørge for at de enkelte konstruksjonsdelene søyle, bjelke og dekke oppfører seg som om de var gjort av samme stykke. Ut fra dette utviklet han den monolittiske betongkonstruksjonen, der deformasjoner og krefter overføres mellom delene, en teknikk som revolusjonerte konstruksjonsbransjen. Metodene muliggjorde betongkonstruksjoner som kan oppta store strekkspenninger, noe som igjen muligjorde større spennvidder, og systemene for armering la grunnlaget for senere utvikling av flatdekker i betong.

Patentet på monolittiske betongsystemer fra 1892 ble snart implementert i ulike typer bygg og infrastrukturprosjekter. Hennebiques arbeid har hatt varig innflytelse på betongens anvendelse i moderne konstruksjoner.

Robert Maillart (1872–1940)

var en sveitsisk ingeniør kjent for sitt banebrytende arbeid innen betongkonstruksjoner. Han var en innovativ og suksessrik brokonstruktør og -designer og ble en pioner innen utviklingen av flatdekker. Bruken av enkle, bærende betongelementer uten synlige bjelker bidro til den estetikken som flatdekkene senere skulle bli kjent for. På denne tiden var imidlertid systemet langt fra ferdig utviklet, og i en overgangsfase ble det benyttet kraftige søylehoder for å overføre kreftene fra dekket til søylen, noe som resulterte i soppformede konstruksjoner, såkalte 'pilzdekker'.

Maillarts tekniske nyskapning gjorde det mulig å anvende betong på nye måter, og hans ideer inspirerte viktige arkitekter til å ta den i bruk.

Pier Luigi Nervi (1891–1979)

var en italiensk ingeniør med stor interesse og talent for arkitektur, og en av de mest kjente pionerene i bruk av betong i moderne arkitektur. Nervi utviklet teknikker for å støpe tynne, lette dekker, og hans metoder var en svært personlig nytolkning av temaet materialeffektive dekkekonstruksjoner i armert betong. Nervis arbeid på 1950- og 1960-tallet gjorde det mulig å bygge store, åpne rom med mindre materialbruk, og hans formgivning har inspirert mange til å utforske de tekniske og visuelle muligheten betongkonstruksjoner gir.

Le Corbusier (1887–1965)
Dom-ino-konseptet og en ny arkitektur

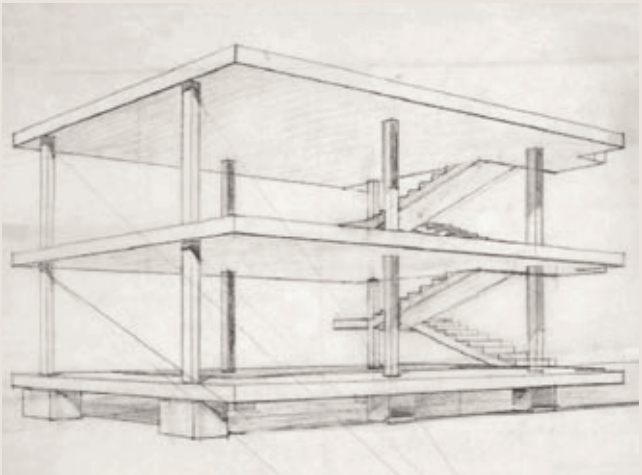
Le Corbusier, en av det 20. århundres mest kjente arkitekter, hadde stor innvirkning på utviklingen av moderne arkitektur og på anvendelsen av nye konstruksjonsteknikker. Hans ideer om flate tak og åpne, frie planløsninger står sentralt i forståelsen av hvilket arkitektonisk potensial som ligger i flatdekkekonstruksjonene. Ett av hans mest innflytelsesrike konsept er det såkalte Dom-ino, utviklet på 1910-tallet i samarbeid med ingeniørene Max Du Bois og Juste Schneider, som revolusjonerte måten man tenkte boligbygging på.

Dom-ino var en visjon for et hus bestående av plane betongplater som bærende elementer, støttet av betongsøyler, der innvendige rom kan utformes fritt uten behov for bærevegger eller bjelker. Konseptet dannet grunnlaget for det som senere ble kjent som den moderne, frie plan, og viste hvordan flatdekker muliggjør fri plassering av innvendige skillevegger.

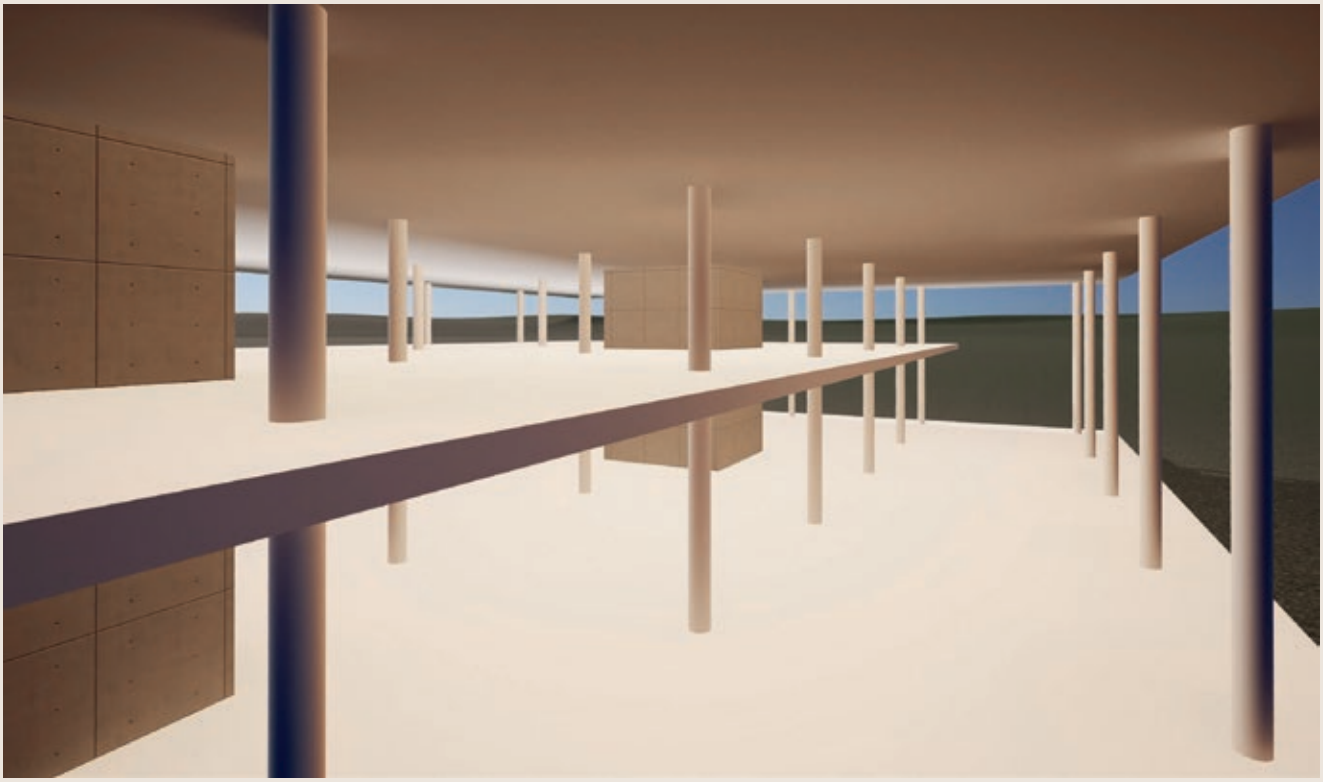
Legg merke til at konseptet allerede på dette tidspunktet (1914) forutsetter at søylene møter dekket direkte, ikke via markante søylehoder. Dette er interessant nok å foregripe den teknologiske utviklingen. Ved å fjerne bæreveggene og tillate fri utforming av rom og interiør, skapte Le Corbusier en helt ny tilnærming til arkitektur, som ga større fleksibilitet og frihet i design av bygninger. I 1927 lanserte han de såkalte fem punkter for en ny arkitektur, "Les Cinq Points d'une Architecture Nouvelle". Han argumenterer her for at konstruksjonen skal bæres av søyler og ikke av vegger, og videre for den frie plan og romløsning som ikke er styrt av konstruksjonen, samt for bruken av takterrasse, horisontale vindusbånd og en fri fasade. Flatdekket er en integrert og nødvendig del av denne visjonen.

Robert Maillart – Glesshübelstrasse, Zürich. i en overgangsfase ble det benyttet kraftige søylehoder for å overføre kreftene fra dekket til søylen, noe som resulterte i soppformede konstruksjoner: 'pilzdekker'. Foto: Xpiowa/Wikimedia

Pier Luigi Nervi – Palazzo del Lavoro, Torino. 'Arbeidspalasset', tegnet og bygget av Nervi og sønnen Antonio til Torino-utstillingen i 1961. Bygningen hadde et utstillingsareal på 85 000 kvm og skulle senere omgjøres til teknisk skole. Den ble oppført på mindre enn halvannet år



Dom-ino er en åpen modulstruktur tegnet av Le Corbusier i 1914-1915



Modell: Bjørnar Hamstad

Fordeler med flatdekkekonstruksjon

Estetisk frihet – ingen nedstikkende bjelker

En av de mest åpenbare fordelene med flatdekkekonstruksjonen er det estetiske uttrykket. Uten nedstikkende bjelker får man en helt jevn himling som gir et moderne, minimalistisk preg. Dette åpner for større muligheter innen interiørdesign, der arkitekten har større frihet til å planlegge rom uten hensyn til bjelker som hindrer plassering av innredning, installasjoner eller belysning.

Flatdekket legger til rette for fleksible, åpne rom med vekt på funksjonalitet og frihet. Nødvendige vegger for møterom, toaletter, eller skillevegger mellom leieforhold, ev. boligskiller, bygges som lette konstruksjoner direkte mellom dekkene. Dette kan gjøres siden dekkene i betong allerede har løst utfordringer mht. brann- og lydisolasjon i slike knutepunkt og dekkekonstruksjon.

Effektiv materialbruk

Flatdekker er kjent for å være et effektivt valg med hensyn til materialbruk. Betongen støpes på stedet, noe som reduserer behovet for store prefabrikkerte elementer. Plasstøpte konstruksjoner har en stor formfrihet og er ikke låst til regularitet. Dette gir bedre utnyttelse av materialene, reduserer transportkostnader og kan gjøre byggingen mer økonomisk effektiv. Denne metoden tillater også en mer strømlinjeformet produksjon og raskere byggeprosesser, da flatdekkekonstruksjoner generelt er enklere og raskere å utføre enn tradisjonelle konstruksjoner med nedstikkende bjelker. Bruk av store dekkebord og metoder med rullarmering, har effektivisert og redusert arbeidsmengden betydelig.

Etasjebyggeri

For konstruktørener det viktig å få tilstrekkelig global stivhet på en bygningskropp. Én løsning er å benytte heis- og trappesjakter som plasstøpte veggskiver. I kombinasjon med flatdekker kan sjaktene trekkes inn mot kjernen av bygget, og derved eliminere behov for avstivende kryss i fasader, som ødelegger planløsninger og kompliserer ytterveggsoppbyggingen. Sjaktveggene kan støpes etasjevis eller glidstøpes til topps før dekkereisen kommer. Når man skal bygge høyt, kan dekkereisen gjenbrukes etasje for etasje. Når tre dekker er støpt, kan disse bære vekten av neste dekkestøp. Dermed har man et fritt plan å jobbe på under dette, og kan starte med teknisk infrastruktur osv. Effektivt – og med langt større konstruksjonssikkerhet underveis enn ved andre konstruksjonsmetoder.

Utkraget, lik dekkekant – arkitektonisk fleksibilitet

Den utkragede dekkekanten i flatdekkekonstruksjoner gir ekstra arkitektonisk fleksibilitet, og muliggjør utkragerdekker og unike byggetekniske løsninger. Dette åpner for mer spennende bygningsformer, som også kan gi bedre sol- og vindforhold utomhus.

Flatdekkenes fleksibilitet gir også store fordeler ved rehabilitering og oppgradering av eksisterende bygg. Strukturene kan lettere tilpasses og endres ved renovering, da man slipper å forholde seg til nedstikkende bjelker eller andre hindringer i eksisterende konstruksjon. Dermed kan byggets funksjon endres

I kombinasjon med flatdekker kan sjaktene trekkes inn mot kjernen av bygget, og derved eliminere behov for avstivende kryss i fasade
Modell: Bjørnar Hamstad

uten omfattende endringer i den bærende strukturen. En lik dekkekant uten søyler legger til rette for gode bygningsdetaljer med minimal kuldebro både ved nybygg og rehab.

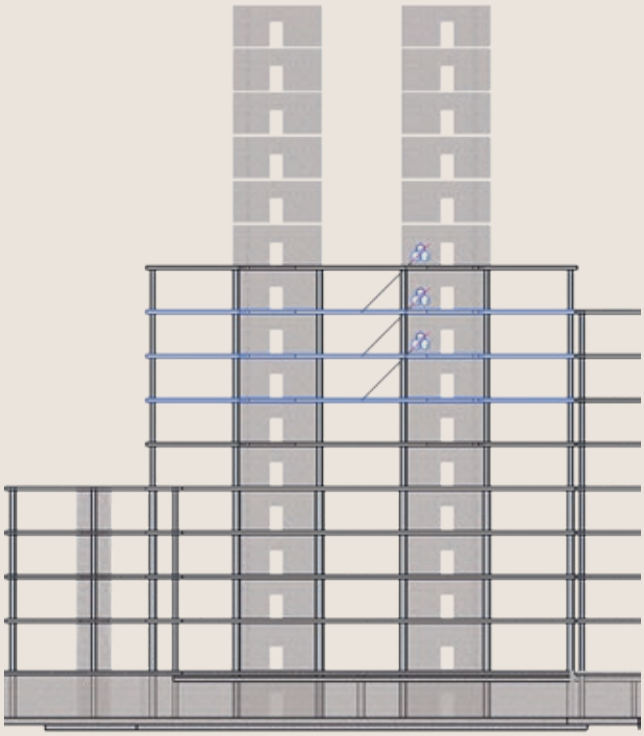
Brann- og lydisolasjon

Sikkerhet og komfort er viktige faktorer ved valg av konstruksjonstype. Flatdekker er svært godt egnet til å møte både brann- og lydkrav. Betong har naturlige brannhemmende egenskaper som gjør det til et ideelt materiale for brannsikring, samtidig som den store massen gir utmerket lydisolasjon. .

Flatdekkene kan også tilpasses for å møte spesifikke brannkrav og lyddempingsegenskaper, noe som gjør dem til en trygg løsning både for boliger og næringsbygg.

Fleksibilitet ved rehabilitering

En av de store fordelene med flatdekker er at tilpasninger og ombygging blir enklere. Dette gjelder spesielt ved rehabilitering av eldre bygg, hvor man kan gjøre store endringer uten å ta hensyn til strukturelle begrensninger. Bygningen kan lett tilpasses nye behov eller endrede funksjoner, noe som gjør det lettere å oppgradere den i takt med tidens krav. Dekkefeltene har også stor kapasitet til å bære nye utsparinger til for eksempel ny teknikk eller en interntrapp.



For å få tilsrekkelig global stivhet, kan heis- og trappesjakter benyttes som plasstøpte veggskiver i kombinasjon med flatdekker, og derved eliminere behov for avstivende kryss i fasader. Sjaktveggene kan støpes etasjevis eller glidstøpes til topps før dekkereisen kommer.
Ill.: Bjørnar Hamstad

SCHWENK Norge leverer CEM III/B – en slaggbasert sement produsert med lavt karbonavtrykk som gjør det mulig å produsere konstruksjonsbetong med betydelig redusert sementmengde Bildet er fra Zementwerk Bernburg i Tyskland. Foto: SCHWENK

På sementfabrikken i Brevik er det nye karbonfangstanlegget under innkjøring. Foto: Dag Jensen/Heidelberg Materials

Mer miljøvennlige betongkonstruksjoner

Sement står for rundt 90 prosent av klimagassutslippene fra betong. De siste årene har utviklingen innen betongteknologi åpnet for mer bærekraftige løsninger, særlig gjennom innovasjon i sementtyper og nye betongresepter.

Dagens bransjereferanse for B30-M60 er 245 kg CO_2-ekvivalenter pr m^3 betong [Norsk Betongforenings publ. 37 Lavkarbonbetong]. Målt enhet til utslipp er en fellesfaktor som benyttes på byggevarer der alle utslippsstoffer er omregnet til CO_2-ekvivalenter, som igjen tilsvarer et potensielt oppvarmingstilskudd til kloden, GWP (global warming potential), og deklareres i EDP.

Sement

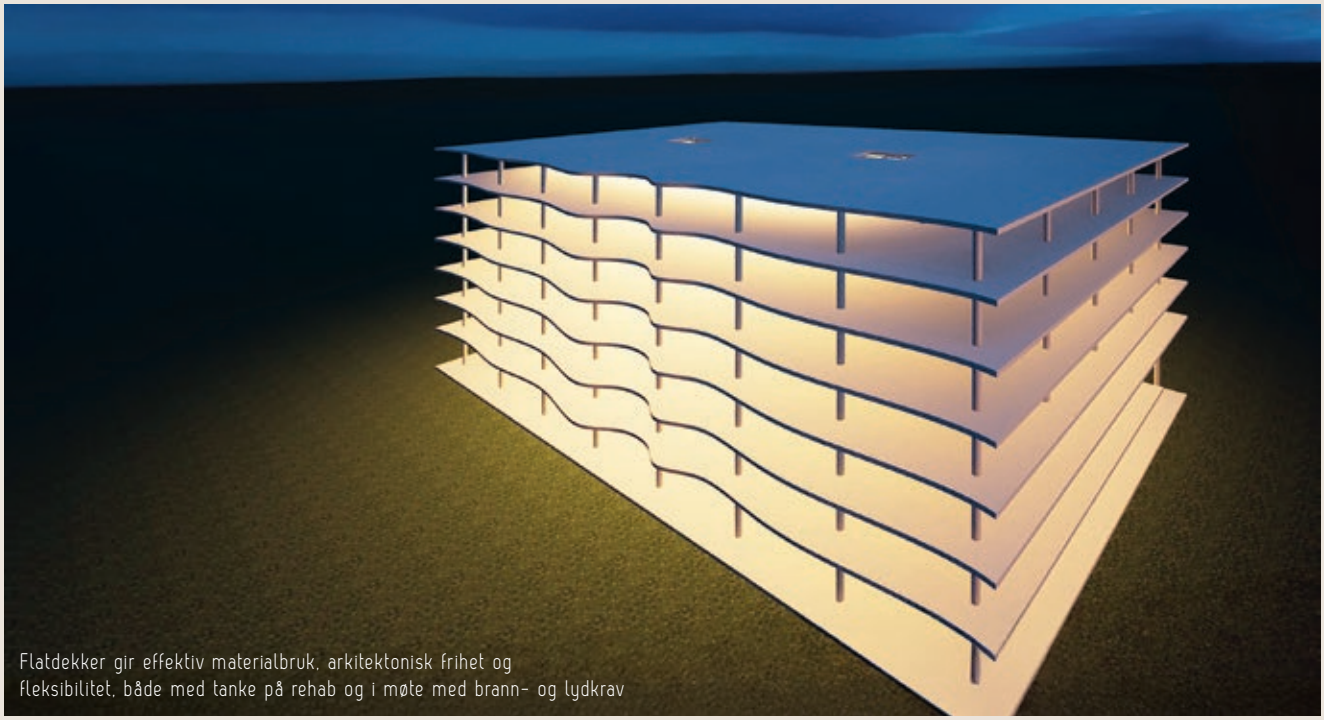
SCHWENK er en viktig aktør i utviklingen av mer miljøvennlige sementer. De leverer CEM III/B – en slaggbasert sementtype produsert med lavt karbonavtrykk – som gjør det mulig å produsere konstruksjonsbetong med betydelig redusert sementmengde. Én kubikk betong er faktisk levert til under 100 kg CO_2-ekvivalenter pr m^3, uten å gå på kompromiss med styrke eller bestandighet. (Ref. R. Kjeldsbergs bygg ALO.) SCHWENK har også igangsatt et pilotprosjekt for CO_2-fangst på sin fabrikk Brocēni, Latvia, og satser på full CO_2-fangst i 2030.

Heidelberg Materials har nylig lansert flere typer evo-sementer, som er et resultat av karbonfangst på fabrikken i Brevik:

- evoZero, som muliggjør betong med netto null utslipp
- evoBuild, som tilfredsstiller strenge bærekraftskriterier

Fabrikken på Slite i Sverige har ambisjon om å ta ut like mye CO_2 som dagens fabrikkutslipp når den står ferdig i 2030. Dette tilsvarer 4 % av Sveriges totale utslipp.

Alt i alt lover dette godt for fremtidens betongkonstruksjoner.



Flatdekker gir effektiv materialbruk, arkitektonisk frihet og fleksibilitet, både med tanke på rehab og i møte med brann- og lydkrav

Armering

Betong trenger armering, og i en flatdekkekonstruksjon har vi gjerne 100–120 kg armering per kubikk. Riktig søyletakt og balansering av spenn har stor betydning for armeringsmengden i dekkene.

En effektiv konstruksjon mobiliserer en så stor del av tverrsnittet som mulig. I flatdekker er knutepunktet mellom dekke og søyle en svakhet. Her kan man fort få 50 m^2 dekkelast overført til et relativt lite søyleareal. Dette kan føre til en uønsket bruddform, gjennomlokking, hvor dekket bryter rundt søylen. Et effektivt grep for å redusere armeringsmengden og øke konstruksjonens styrke er å innføre vute *) i søyletopp, som øker søylens areal, noe Maillart introduserte for over hundre år siden. Armeringen i en flatdekkekonstruksjon gir et bidrag på 34-41 kg CO_2-ekvivalenter pr m^3 betong.

Celsa Armeringsstål i Mo i Rana er en ledende produsent av armeringsstål med svært lave klimagassutslipp. Ifølge miljødeklarasjonen (EPD) har deres armeringsstål et globalt oppvarmingspotensial (GWP) på 339 kg CO_2-ekvivalenter per tonn, noe som er betydelig lavere enn gjennomsnittet for stål produsert fra skrapmetall (ca. 1000 kg CO_2e/tonn) og stål produsert fra jernmalm (ca. 2200 kg CO_2e/tonn). Denne lave utslippsprofilen skyldes blant annet bruk av 100 % resirkulert stålskrap og fornybar vannkraft i produksjonen.

Ferdig konstruksjon

Betong og armering utgjør faktisk den hele og fulle konstruksjonen. Ingen andre tilleggsmaterialer eller konstruksjoner er nødvendig for å tilfredsstille estetiske krav, konstruktive krav eller TEK 17 – bortsett fra gulvbelegg.

Utviklingen av nye sementtyper og betongresepter er et viktig steg mot mer miljøvennlige plasstøpte konstruksjoner. Disse kan konkurrere med sammenlignbare konstruksjonssystemer og -materialer som følge av meget lavt materialforbruk og lav dekketykkelse.

Utviklingen går fort, og en lokal ferskbetongprodusent i vår region, Trønderbetong, benytter nå utelukkende miljøsement i all sin produksjon.

Oppsummert

Støpte flatdekker representerer en moderne løsning for bygg der estetikk, funksjonalitet, effektivitet og lang levetid vektlegges.

Fordelene med flate himlinger, effektiv materialbruk, arkitektonisk frihet og fleksibilitet både med tanke på rehab og i møte med brann- og lydkrav, forklarer hvorfor flatdekkekonstruksjoner er en populær løsning.

Pionerer som Hennebique, Maillart, Nervi og Le Corbusier har alle bidratt til utviklingen av denne teknikken, og deres innflytelse på byggteknikk og design fortsetter å prege bransjen den dag i dag.

Flatdekker er ikke bare en praktisk byggemåte, men også en mulighet til å realisere ambisiøse arkitektoniske visjoner og fremtidsrettede løsninger. Og de kan nå bygges miljøvennlig. Med systematisk struktur, få bærende komponenter, generøse dekkeplaner og god takhøyde kan slike konstruksjoner få et tilnærmet evig liv, siden man ikke må rive for å gi konstruksjonen nye funksjoner. Det er bærekraft!

*) Vute: Forsterkende overgangsledd mellom søyle og armert dekke.
Vuten har som oftest en rent konstruktiv funksjon og har derfor gjerne form av en rett skrånende utvidelse av søylens tverrsnitt (Kilde: SNL)