

9.2 Form

Af Jacob Christensen



Figur 1. Systemforskalling med glat forskallingsplade.

En betonkonstruktions ønskede geometriske figur og overflade skabes af den form, som betonen udstøbes i.

Formen skal derfor både være så stærk og stiv, at betonens ønskede figur kan fastholdes af formen, indtil betonen i løbet af nogle timer binder af og i de næste døgn hærder og udvikler sammenhæng, styrke og bæreevne.

Den hærtnede betons overflade vil være et aftryk af formens overflade. En glat form giver derfor en glat betonoverflade, og en form med struktur giver en tilsvarende struktur på betonoverfladen. Ru brædder er traditionelt et meget anvendt formmateriale, hvilket giver betonens overflade en træstruktur.

Som beskrevet i afsnit 9.1 Stillads omfatter Form også de spær og strøer, der bærer selve formen. For at kunne holde begreberne adskilt, bruges ordet "formhud" nu ofte om de brædder eller plader, der er i direkte kontakt med betonen, mens "form" omfatter formhud, spær og strøer samt øvrige komponenter til at holde sammen på formens dele.

I det hele taget er formbygning et håndværk, der er omfattet af mange fagudtryk. I de træforme håndværkerne tidligere altid byggede af brædder og planker indgik elementer som støbebrædder, oplænere (strøer) og klamsbrædder (ridedragere) og klamsjern (spændestave). Ofte anvendes også ordet "forskalling" om dele af formen – se fx figur 1.

Klamsjern

I traditionelle træforme – og ofte også i moderne pladeforme – anvendes til fx vægstøbninger gennemgående stænger, der forsynes med en forankring på hver forms yderside. Betonens støbetryk på de to formsider kan så optages af de gennemgående stænger, der så at sige forankrer de to vægsider mod hinanden.

Sådanne stænger kaldes spændestave eller klamsjern. Ordet "klamsjern" indgår officielt ikke i det danske sprog, og ofte bruges fejlagtigt det næsten ens-stavede ord: "klampsjern". Ordet "klamp" indgår i det danske sprog som betegnelsen for dårligt arbejde, så "klampsjern" er et forkert ord at anvende.

Formentlig er "klampsjern" et forsøg på en fordanskning af det engelske ord "clamp", som betyder skruevinge.

Traditionelle træforme anvendes også i dag, men dog kun i mindre omfang, eller hvis der er specielle krav til spændstavsmønster eller overflade. Mange broer støbt in-situ kræves fx udført i bræddeforskalling af hensyn til arkitektens krav til overfladestrukturen.



Figur 2. I kapitel 1.3 Arkitektur er mange figurer med forskellige betonoverflader. Overfladen til venstre er opnået med traditionel bræddeforskalling, se kapitel 1.3, figur 26 (Sælarium – udvidelse af Nordsømuseum i Hirtshals fra 2001 af Friis & Moltke), mens overfladen til højre er opnået med støbeplader, se kapitel 1.3, figur 27 (Bunkermuseet i Hanstholm fra 2002 af CUBO Arkitekter).

Når der anvendes brædder som støbehud, er det vigtigt at tage højde for at brædderne sveller (udvider sig) eller svinder afhængigt af fugtindholdet. Ved levering af brædderne, vil de oftest være tørre. Tørre brædder skal derfor udlægges med ca. 2 mm

mellemrum, hvorved der vil være plads til, at brædderne kan svelle, når de bliver våde af regn. Omvendt skal man i tørre perioder huske at vande brædderne inden støbning for at sikre den svelning, der lukker spalterne mellem brædderne, og derved forhindrer betonpastaen i at løbe ud mellem brædderne og skabe sandstriber eller små støbereder i betonoverfladen.



Figur 3. Traditionel forskalling til en jordkælder er opbygget i træ af en gør-det-selv mand. Her er som klamsjern brugt gevindstænger.

I dag anvender entreprenørerne som form oftest såkaldt systemforskalling, som er et "byggesæt" til form bestående af elementer, der kan sættes sammen på varierende måder, hvorved der kan opnås næsten enhver ønsket formgeometri.

I systemforskalling – er formhuden ofte 14 mm finerplader. Sådanne plader leverer en helt glat overflade på betonen, men selvfølgelig kan samlinger i pladerne ses som streger på overfladen. Evt. fejl i de glatte plader ses også tydeligt.

Hvis der ønskes en anden struktur end glat på betonoverfladen i systemforskalling, kan strukturgivende elementer sættes på systemforskallingens inderside. Hvis der fx ønskes en bræddestruktur, kan man sømme brædder på indersiden af systemforskallingen.

Systemforskalling kan typisk optage meget større støbetryk fra betonen end den traditionelle forskalling.

Som alternativ til systemforskalling og traditionel forskalling, kan man med brug af systemdragere lave en traditionel forskallingsform med en væsentlig større styrke.

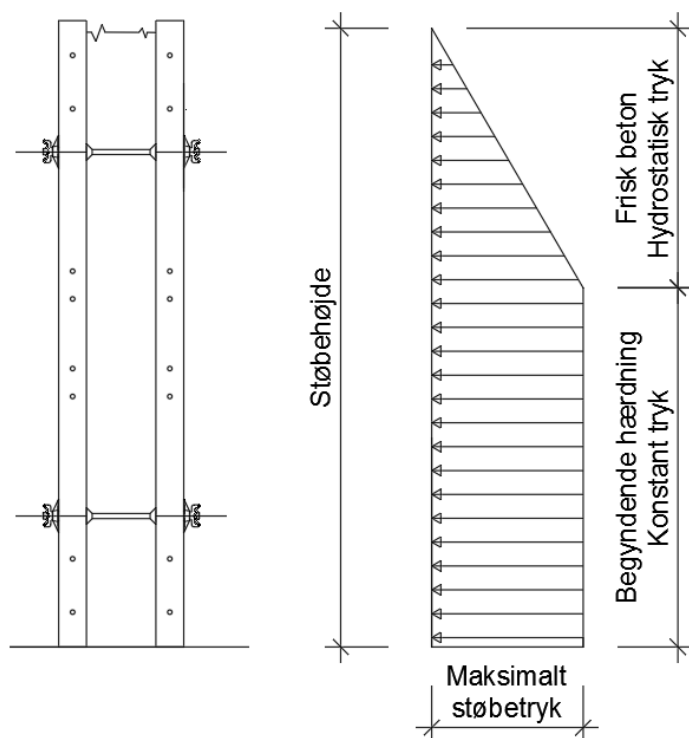
Afhængig af hvor tæt systemdragerene placeres, vil man kunne udføre forskallinger, der kan tage endnu større støbetryk end systemforskalling. Det kan være nødvendigt, når der anvendes SCC-beton.

9.2.1 Støbetryk

Da betonen under udstøbning i formen er helt eller delvist flydende og har en høj densitet på ca. 2.400 kg/m^3 , kommer der en stor vægt og et højt støbetryk på formen. Formen skal derfor være meget stærk og stiv.

SCC-beton er flydende af sig selv og sætmåls-beton gøres flydende ved vibrering. Når betonen er flydende, opfører den sig som andre væsker og presser lige meget til siden, som den presser nedad (vejer).

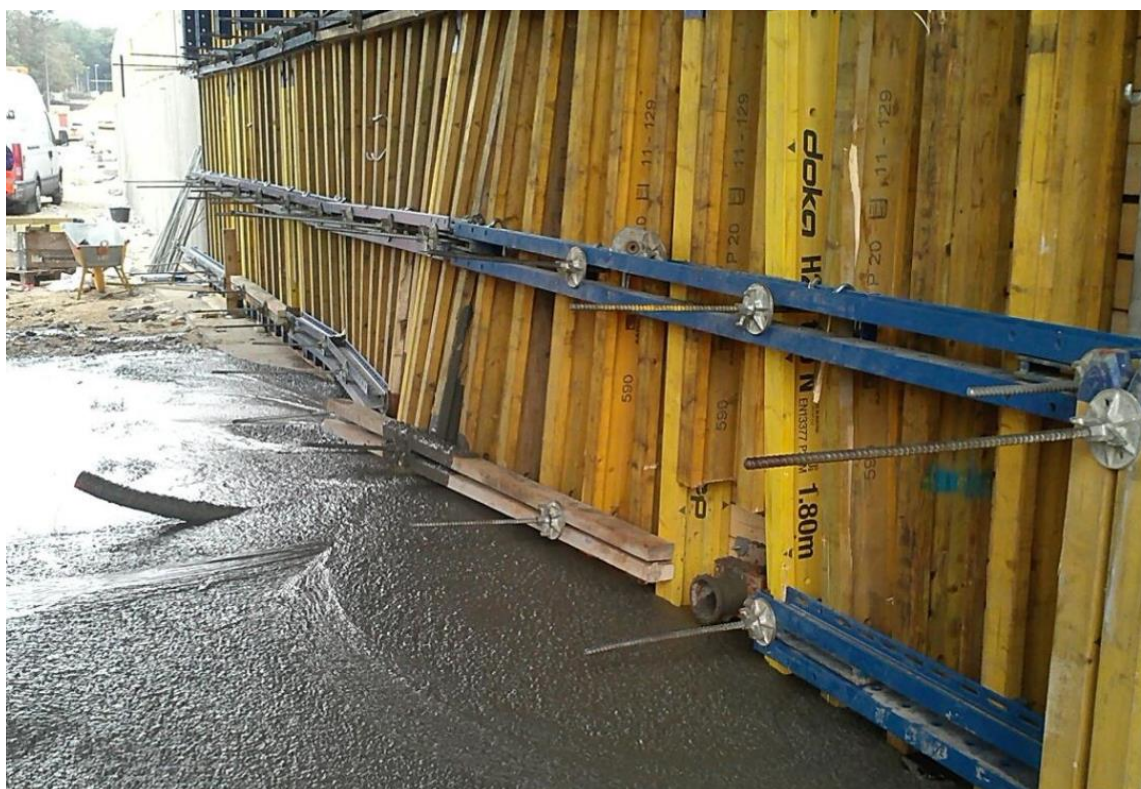
Så længe betonen er flydende, stiger trykket derfor ned igennem betonen og trykket i en vis dybde er lig med betonens rumvægt (densitet) gange dybden. Det kaldes for hydrostatisk trykfordeling.



Figur 4. Støbetryk. Betonen opfører sig kun som en væske i en vis tidsperiode fra blanding og udstøbning. Man regner derfor kun med hydrostatisk tryk svarende til denne tidsperiode, og højden af den hydrostatiske zone afhænger derfor af, hvor tykt et lag beton, der er udstøbt i denne periode. Det betyder også, at hvis der udstøbes hurtigt (høj støbehastighed) bliver formtrykket større. Som det ses af figuren, regner man normalt på den sikre side med konstant støbetryk svarende til det maksimale støbetryk under den hydrostatiske zone, også selv om trykket efterhånden falder og forsvinder, når betonen binder af og udvikler styrke. Bemærk de to klamsjern på figuren til venstre. Det nederste skal optage en betydeligt større trækraft end det øverste.

I praksis svarer det til, at hvis man fx udstøber en væg, vil formtrykket nederst i væggen stige i takt med at formen fyldes op. Hvis formen ikke fyldes alt for hurtigt, vil støbetrykket nederst i væggen ikke vokse efter nogle timer. Det skyldes, at betonen "sætter sig" (mister sin bearbejdelighed, udvikler struktur og binder af) og derfor ikke mere fungerer som en væske. Støbetrykket øges derfor ikke, selv om der fyldes mere beton i formen.

For at kunne bestemme det maksimale støbetryk, skal man kende hvilken støbehastighed, der støbes med. Støbehastigheden er den hastighed formen fyldes med i højden (målt som udstøbt højde pr. time).



Figur 5. Bliver støbetrykket for stort, kan formen sprænges. På billedet er en meget flydende beton – formentlig en SCC-beton – blevet pumpet ind gennem studsene forinden i midten, og formens bæreevne er overskredet. De gule oplænere har været stærke nok, mens det ser ud til, at klamsjernene ved formens bund ikke har kunne optage støbetrykket, hvorefter også de højere-liggende klamsjern bryder.

Det maksimale støbetryk kan bestemmes ved forsøg eller ud fra erfaringstal, eller fx ud fra DIN 18218.

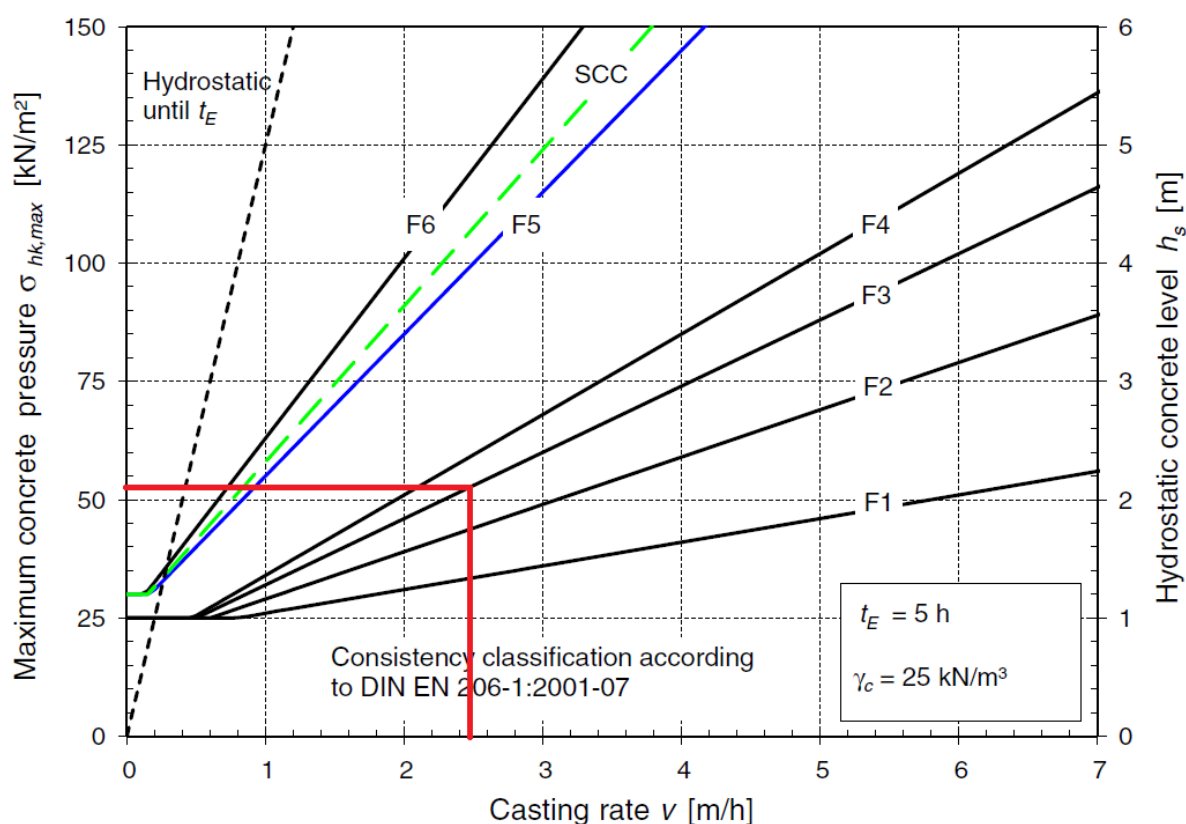
For at kunne bruge formlerne i DIN 18218 skal man kende betonens t_E -værdi, som er tiden fra vandet er tilsat cementen til betonen har sat sig. Metoden til at finde dette tidspunkt er beskrevet i DIN EN 480-2.

Denne t_E -værdi er normalt vanskelig at få oplyst fra betonleverandøren. Udover t_E værdien skal man også vide hvilken konsistensklasse betonen er i, ud fra definitionerne i DS/EN 206: F1 til F6 eller SCC/SVB. For almindelig sætmålsbeton med sætmål 120-160 mm kan anvendes konsistensklasse F3 og for selvkompakterende beton (SCC-beton), kan anvendes SVB i de grafer, der er vist i DIN 18218.

Kendes t_E -værdien ikke, kan man bruge følgende håndregel: Ved brug af almindelig cement og en

Støbetryk – Eksempel:

Ved en t_E -værdi på 5 timer, beton konsistensklasse F3 og en støbehastighed på 2,5 m/timer, fås et maksimalt støbetryk på 53 kN/m². For en SCC-beton vil det tilsvarende støbetryk blive 105 kN/m². For at opnå samme lave støbetryk som for sætmålsbetonen, vil støbehastigheden for en SCC-beton kun skulle være 0,8 m/time.



Støbetryksdiagram fra DIN 18218

For alle typer forskallingssystemer er det vigtigt, at hullerne i formene til spændestavene placeres lige overfor hinanden, således at spændestavene går vinkelret igennem formen. Hvis spændestavene ikke er vinkelret på formen, vil spændestaven, når den udsættes for træk, prøve at rette sig op og stå vinkelret på formen, hvorved der kommer en stor kraft parallelt med formsiden, der vil kunne flytte formen og give en deformation.

Det er derfor vigtigt, at der placeres lige store forme overfor hinanden, så spændestavshullerne passer sammen.

9.2.2 Vægforskalling

Forskalling til støbning af vægge skal kunne optage et stort støbetryk. De fleste systemforskallinger kan tage et formtryk på 60 - 80 kN/m², afhængigt af hvilken dimension spændestav, der bruges. Den mest almindelige spændestav er en DW15 (en 15 mm gevindstang), som kan tage et træk på 90 kN. Når denne bruges, vil formsystemerne kunne tage et tryk på 60 kN/m².

I nogle tilfælde, anvendes der glasfiberspændestave, hvis der er krav til, at man ikke skal kunne se de koniske spændestavshuller (ofte kaldet klamshuller) efterfølgende. Glasfiberstavene afskæres efter støbning i overfladen af betonen, hvorved stangens ende bliver synlig i overfladen, men kan kun svagt anes, da den har samme farve som betonen. Glasfiberspændestavene kan dog tage et væsentlig mindre træk end spændestavene af stål, hvilket gør, at formsystemet dermed ikke kan tage et så stort støbetryk, medmindre der anordnes flere spændestave.



Figur 6. Vægforskalling i flere højder.

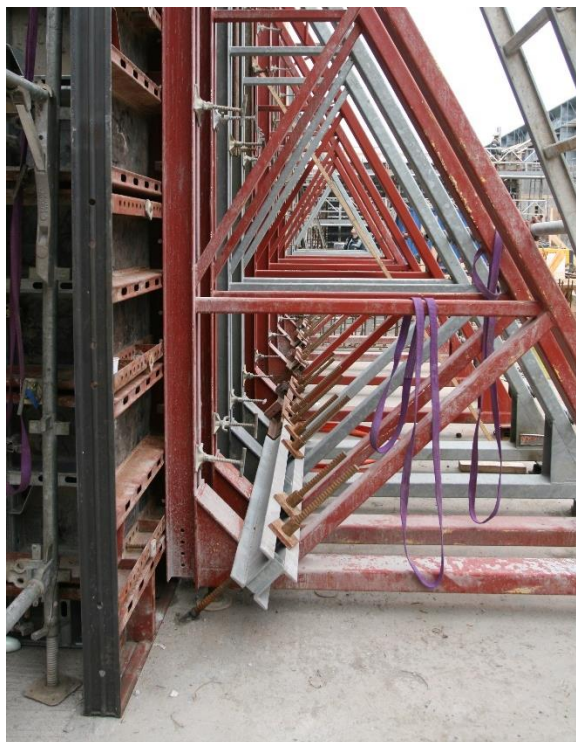
Traditionel forskalling, der udføres med tømmer, anvendes i dag typisk kun på mindre opgaver, hvor støbehøjden - og dermed støbetrykket - ikke er højt. Tømmer har begrænset bæreevne og kræver derfor mange spændestave for at kunne klare betontrykket. Den traditionelle forskalling har dog den fordel, at den kan tilpasses alle geometrier, samt at spændestavene kan placeres i et forudbestemt mønster. I stedet for at bruge tømmer til forskallingen, kan der bruges systemdragere, med væsentligt større bæreevne, men med næsten samme formfrihed.

Traditionel tømmer-forskalling er mere mandskabskrævende end systemforskalling.

Ved in-situ støbte broer anvendes ofte traditionel tømmer-forskalling til brodækket, fordi bygherren stiller krav om bræddestruktur og siden af broerne tit har en speciel udformning. Desuden er støbetrykket lavt i et brodæk, da sideforskallingen som regel er under - eller omkring - 1 meter.

9.2.3 Ensidedig forskalling

Ensidedig forskalling er en form, hvor der kun er forskalling på den ene side af betonen. Dette betyder, at man ikke kan bruge spændestave på normal vis til at udligne støbetrykket. Når der støbes op imod fx en spuns eller sekantpæle, vil der kun være forskalling på den ene side.



Figur 7. Afstivning af ensidedig form med støttekonsoller. Bemærk de kraftige spændestave, der er støbt ind i bundpladen og er ført ned i 45 grader for at sikre, at støttekonsollerne ikke løftes.

Den mest simple måde at afstive formen på er, at bruge spændestave som på normal vis, men hvor spændestavenes ene ende fastgøres til spunsen eller sekantpælene. Man skal her være opmærksom på, at fastgørelsen skal være stærk nok.

Oftest tillades det ikke at bruge spændestave til denne type vandtætte vægge, og måske er der også en membran, der ikke må gennembrydes. Støttekonsoller eller elementstøtter kan så anvendes til at tage støbetrykket. Man skal være opmærksom på, at der ved denne type afstivning kommer en forholdsvis stor opadrettet last på grund af de skrå afstivninger. Formen skal derfor holdes nede med ankre eller dødvægt.

9.2.4 Klatre- og glideforskalling

Når der skal støbes højere vægge, end der kan støbes af én gang (i praksis højst 6-8 meter), kan man benytte klatreforskalling eller glideforskalling.

Glideforskalling er en forskalling, der kontinuerligt bevæger sig opad. Glideforskallingen anvendes fx til skorstene eller høje elevatorskakte og siloer. Glideprocessen går så langsomt, at betonen når at hærde inden den ca. 2 m høje glideforskalling har sluppet betonen. Glideforskallingen bliver lavet specielt til hver enkelt opgave og er forholdsvis dyr. Derfor anvendes systemet kun på meget høje støbninger eller på bygninger med specielle tværsnit, hvor der alligevel skal specialfremstilles en støbeform.



Figur 8. Glideforskalling på vindmølleårn, Lemvig. Klatreforskalling til trappetårn, Amagerforbrænding. Bemærk de to karakteristiske overflader, der følger af fremgangsmåden.

Klatreforskalling bliver oftere anvendt, da der her kan anvendes systemprodukter. Ved første støbning indstøbes der kraftige ankre, som klatrekonsollerne til næste støbning kan hænges op i. Herefter kan der støbes høje vægge i fx sektioner af 3-4 meter. Den typiske støbehøjde vil ofte svare til etagehøjden i husbyggerier. Pylonerne på de store broer er støbt med klatreforskalling i ca. 6 meters løft.

9.2.5 Specialforskalling

Beton har den egenskab, at den kan udformes i alle de geometriske former, der kan fremstilles en form til. Dette stiller til tider store krav til støbeformen for at leve op til arkitektens visioner – især når der ønskes konstruktioner med krumme flader.

Til mere simple konstruktioner som vægge med runde og ovale tværsnit, findes der systemforskalling, der kan benyttes. Når det kommer til dobbeltkrumme forme, skal der laves en specialform.

Her benytter man sig oftest af en lige standardform, der kan tage støbetrykket og indsætter en specialfremstillet udsparingskasse, der giver formen. Udsparingskassen bliver oftest lavet i træ, men med indførelsen af robotteknologi, benyttes nu også polystyren, som nemt kan formes ved skæring og robot-fræsning.



Figur 9. Systemforskalling til udførelse af runde vægge.



Figur 10. Specialforskalling brugt i kombination med træudsparinger og systemforskalling som lastbærende.