

Sammanfattande beskrivning av SBUF-projektet ”Platsgjutna betongstommar för rationell produktion av husbyggnader” (proj.nr: 09017)

Nedan följer en sammanfattning av licentiatavhandlingen “New concrete materials technology for competitive house building” författad av Markus Peterson, industridoktorand på avdelningen Byggnadsmaterial, LTH och Skanska Asfalt och Betong, BTC.

Bakgrund

Platsgjuten betong har under decennier varit den mest använda materialtekniken inom stombyggnad i Sverige men möter idag allt hårdare konkurrens från andra material såsom prefabricerad betong eller lättbyggnadsstommar av t.ex. stål. Platsgjuten betong har kritiserats för att bl.a leda till kort spännvidd, lång produktionstid, dålig arbetsmiljö och fuktrelaterade inomhusmiljöproblem. Ny betongteknik kan dock bemöta dessa med platsgjutet stombyggande förknippade nackdelar. Intensiv svensk såväl som internationell betongforskning inom framförallt högpresterande betong (HPB) och självkompakterande betong (SKB) har skapat potentiella fördelar inom konstruktions- och produktionsteknik samt avseende den färdiga stommens funktion. Användandet av dessa nya betongtekniker är dock hittills begränsat och har internationellt främst skett inom anläggningsbyggande, och vad gäller husbyggnad, framförallt inom prestigefyllda skyskrapsprojekt. Inom konventionellt husbyggande byggs platsgjutna betongstommar oftast på samma sätt och genom samma typ av organisation som under de senaste decennierna, trots ökad konkurrens från andra material och att ny materialkunskap har tagits fram. Om användandet av HPB och SKB skall öka inom husbyggnad krävs förmodligen att hänsyn tas till flera positiva aspekter.

Syfte

Projektets syfte är att undersöka ny betongtekniks (HPB:s och SKB:s) potential för konkurrenskraftigt platsgjutet stombyggande. För att undvika suboptimering har fokus satts på konstruktions- och produktionsaspekter såväl som på den färdiga byggnadens funktion. Hänsyn har även tagits till både tekniska och byggprocessororienterade hinder för implementering.

De genomförda licentiatstudiernas syfte har varit att undersöka den *teoretiska* potentialen hos ny betongteknik, vilken är tänkt att användas som underlag för det fortsatta doktorsarbetet, där syftet är att studera den ”verkliga” potentialen genom att genomföra fältstudier med fokus på ekonomiska och praktiska/tekniska frågor.

Genomförande

Licentiatstudien består huvudsakligen av följande delstudier:

- Förstudie
Förstudien som delvis baseras på intervjuundersökningar syftar dels till att beskriva *nuvarande* teknik och byggprocess gällande platsgjutet stombyggande samt att genom litteraturstudier sammanställa egenskaper, användningsområden, generell potential, forskning och erfarenheter gällande ny betongteknik (HPB och SKB).

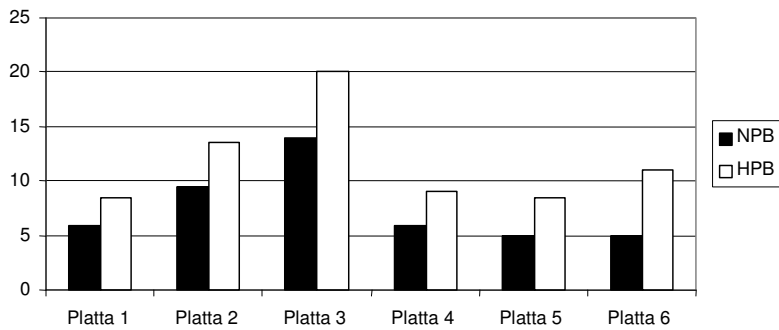
- **Konstruktionsstudier**
Genomförda konstruktionstekniska parameterstudier, baserade på finita element-beräkningar syftar till att undersöka HPB:s teoretiska potential att utöka betongbjälklags spännvidder. Effekter av betongens tryck- och draghållfasthet, elasticitetsmodul samt krytpal har beräknats med PC-programmet FEM-Design Plate [1] avseende maximalt tillåten spännvidd för olika typer av stomkonstruktioner. Hänsyn har även tagits till armeringsmängd och plattjocklekens inverkan. Även effekten av armeringsbehov baserat på plattans varierande moment, istället för det maximala moment, har studerats.
- **Produktionsstudier**
Produktionsstudien består av två typer av parameterstudier, varav den *första* syftar till att undersöka HPB:s möjlighet till att förkorta uttorkningstider. Effekter av betongens vct, silika-innehåll, plattjocklek samt olika formsystems och omgivande klimats inverkan på uttorkningstiden har beräknats med hjälp av PC-programmet TorkaS [2].
Den *andra* produktionsstudien består av parameterstudier baserade på PC-programmet Hett97 [3]. Studien syftar till att åskådliggöra effekter av betongens cementmängd och starttemperatur samt yttre faktorer såsom formtyp, lufttemperatur och vinterbetongåtgärder (täckning, isolering och infra-värmning), avseende hållfasthetsutvecklingen.
I produktionsstudierna ingår även sammanställande av SKB:s möjligheter för mera rationell platsgjuten stomproduktion genom t.ex bättre arbetsmiljö, minskat behov av efterarbete och arbetskraft samt högre produktivitet och möjlighet att klara avancerade konstruktionstyper.
- **Studier av synergieffekter rörande byggnadens funktion**
HPB:s fördelar ur konstruktions- och produktionssynpunkt ger även synergieffekter på den färdiga stommens funktion. Denna delstudie fokuserar på aspekter sammanhängande med t.ex stommens ökade flexibilitet för framtida ombyggnation, höjda akustiska kvalitet samt minskade risk för fuktproblem.
- **Studier av hinder för implementering av ny betongteknik**
Denna studie sammanställer tekniska problemområden angående HPB och SKB (baserade på litteraturstudier) men resonerar även kring icke-tekniska hinder för införande av ny teknik, såsom ekonomi, aktörers samverkan, byggnormers begränsningar, ansvarsfrågor etc.

Resultat

Konstruktionsteknisk potential för HPB

Resultatet visar exempelvis (se figur 1) att utnyttjande av ökad draghållfasthet och E-modul hos HPB tydligt kan utöka spännvidder för platta/vägg-konstruktioner (platta 1-3) då deformation i bruksskedet oftast är dimensionerande. För pelardäck (platta 4-6) minskar en ökad draghållfasthet signifikant risken för genomstansning i brottstadiet och därmed ökar möjligheten för större spännvidder. Erforderlig armeringsmängd baserad på det varierande momentet i varje FEM-nod understiger betydligt den erforderliga mängden i förhållande till det maximala momentet.

Maximalt tillåten spännvidd (m)



Figur 1: Jämförelse mellan konventionell husbyggnadsbetong K30 (NPB) och högpresterande betong (HPB) avseende maximalt tillåten spännvidd för de studerade platttyperna. För HPB är karakteristisk draghållfasthet och E-modul satta till 5,0 MPa respektive 50 GPa. Hänsyn har tagits till både brott- och bruksstadiet.

Resultatets praktiska tillämpningar och möjliga konsekvenser

Ökad betongkvalitet förknippas ofta med ökad tryckhållfasthet, men enligt resultatet av studien medför denna egenskap ingen konstruktionsteknisk potential för betongbjälklag. Däremot visar resultatet att ökad draghållfasthet och E-modul kan leda till ökade spännvidder (alternativt minskad konstruktionstjocklek). Dock kräver denna typ av betong god kontroll i tillverkningen och hög kvalitet på ingående delmaterial. För att kunna försvara en sådan högkvalitativ betong ekonomiskt krävs troligen att hänsyn tas till synergieffekter under produktions- och användarstadiet.

Ett annat resultatområde visar att betydligt lägre totala armeringsmängder skulle kunna användas om det varierande momentet används som underlag istället för det maximala. För att kunna utnyttja detta i verkligheten krävs någon typ av CAD/CAM-metod, vilket börjar introduceras på marknaden. [4]. Se figur 2.



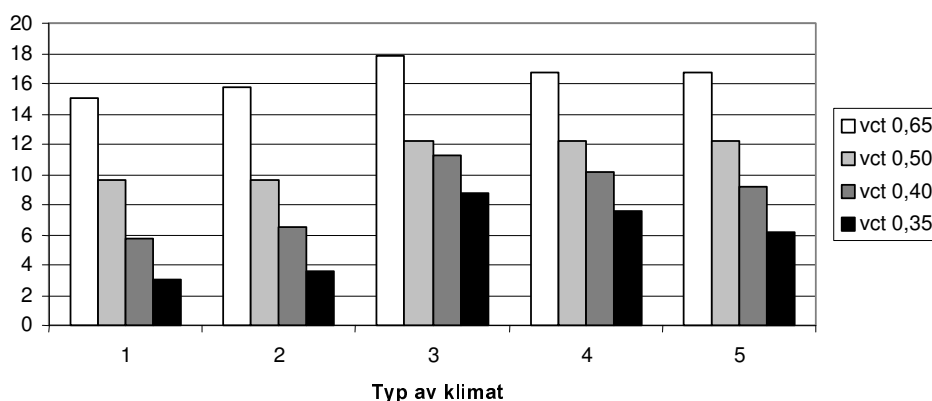
Figur 2 Exempel på rationellt armeringsnät som enkelt rullas ut och kan skräddarsys på fabrik [4].

Produktionsteknisk potential för HPB

Reducerad produktionstid genom snabbare uttorkningstid

Resultatet visar att HPB kan reducera uttorkningstiden kraftigt även för grova konstruktioner och vid användande av formsystem som endast tillåter uttorkning i en riktning, genom utnyttjande av självuttorkningseffekten. Även betydelsen av fem olika omgivande klimat (styrd torkning från gjutstart, ett sommarklimat och tre vinterklimat) har beräknats.

Uttorkningstid (månader)



Figur 3: Jämförelse mellan de studerade klimattypernas effekter på uttorkningstiden för att uppnå 85 % RF på ekvivalent djup i betongkonstruktion m.h.t. olika vct. Beräkningarna bygger på betong utan silika, betongplatta (0,20 m) och filigranbjälklag (0,05 m).

Resultatets praktiska tillämpningar och möjliga konsekvenser

Huvudresultaten visar följande:

- HPB leder till betydligt kortare uttorkningstider för alla studerade omgivningsklimat (se figur 3)
- HPB uttorkningsförlopp är i princip oberoende av konstruktionstjockleken
- HPB skapar möjligheter för kort uttorkningstid även när formsystem såsom kvarsittande stål används (vilken medger uttorkning i endast en riktning)
- Vid vintergjutning är betongens temperatur under de första dygna betydande för uttorkningsförloppet, speciellt vad gäller HPB (se figur 3). Detta kan förklaras av att en god strukturutveckling gynnar självuttorkningseffekten.
- Enligt ovanstående punkt kan man dra slutsatsen att styrd torkning direkt från gjutstart speciellt påverkar uttorkningsförloppet då HPB gjuts vintertid

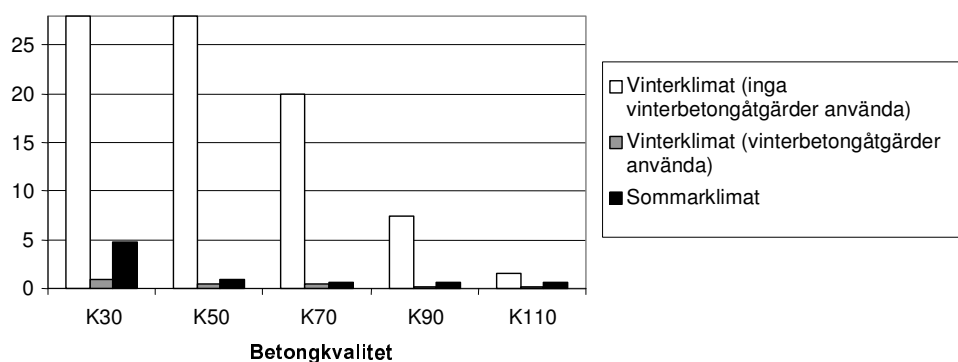
Övriga resultat:

- För NPB förlängs uttorkningstiden väsentligt för tjockare konstruktioner och om uttorkning endast medges i en riktning
- Silikatillsats reducerar uttorkningstiden avsevärt

Reducerad produktionstid genom snabbare hållfasthetsutveckling

HPB ger möjlighet till snabb hållfasthetsutveckling såväl under sommartid som vintertid då även risken för tidig frysning samt behovet av vinterbetongåtgärder minskar.

Erforderlig tid (dygn)



Figur 4: Beräknad effekt av betongkvalitet, vinterbetongmetoder (d.v.s. täckning, isolering och infra-värmning) samt omgivande klimat (vinterklimat $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ och sommar $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) på erforderlig tid att uppnå 20 MPa i betongbjälklag.

Resultatets praktiska tillämpningar och möjliga konsekvenser

- **HPB:s potential sommartid**
Även då omgivande temperatur är relativt hög finns potential för snabbare produktionscykler. Bl.a. visar resultatet (se figur 4) att en formrivningscykel kan reduceras från 5 dygn till ett dygn om betongkvaliteten höjs från K30 till K50. Som ytterligare jämförelse skulle en K110 minska tiden ytterligare till ett halvt dygn.
- **HPB:s potential vintertid**
Den största potentialen med HPB syftande på utnyttjande av den snabbare hållfasthetsutvecklingen utgörs under vintertid när omgivande lufttemperatur understiger 0°C . Exempelvis visar resultatet från studien att erforderlig tid för att uppnå 20 MPa kan minskas från 28 dygn till endast ett dygn om betongkvaliteten höjs från K30 till K70 om endast täckning används som vinterbetongmetod (och gjuttemperatur och omgivande lufttemperatur är $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive -5°C). Ett annat exempel är att en K110 utan vinterbetongåtgärder behöver ungefär lika lång tid att uppnå 20 MPa som en K30 i kombination med infra-värmning, täckning och isolering (se figur 4).
Vad gäller risk för tidig frysning är t.ex. denna eliminerad när en K70 betong används utan vinterbetongåtgärder, jämfört med en K30 som kräver både täckning och isolering om förutsättningarna är de samma (uteluftstemperatur på -10°C och starttemperatur på 25°C).

Potential rörande den färdiga stommens kvalitet (synergieffekter av HPB)

För att undvika suboptimering och istället utnyttja den totala potentialen hos HPB bör hänsyn tas till synergieffekter av HPB, gällande den färdiga stommens funktion, särskilt då ekonomiska resonemang förs gällande den direkta materialmerkostnaden kontra besparingar.

Områdena nedan kan ses som exempel på dessa presumtiva långsiktiga fördelar:

- Ökad flexibilitet vad gäller framtida funktion av byggnaden (längre spännvidder i kombination med lätta innerväggar)
- Reducerade fuktrelaterade problem (säkrare uttorkning)
- Ökad akustisk kvalitet (HPB:s uttorkningsförlopp är i princip oberoende av konstruktionstjockleken, vilket innebär att grövre konstruktioner som skapar möjligheter för bättre ljudisolering, kan produceras utan förlängd produktionstid)

- Reducerad energiförbrukning (grova betongstommars goda värmelagringsförmåga kan utnyttjas utan förlängd produktionstid)

Hinder för implementering av ny betongteknik inom husbyggande

Tekniska hinder för användning av HPB

Tekniska hinder för implementering av HPB innefattar både eventuella problemområden inom fabriksbetongproduktionen såsom delmaterialens kvalitet och kontroll över receptproportionering, men även presumtiva problem kopplade till den färska (t.ex. arbetbarhet) och hårda betongen på byggarbetsplatsen och funktionen hos den färdiga konstruktionen (sprickbildning, brandspjälkning etc).

Tekniska hinder för implementering av SKB

Vid jämförelse med NPB, kräver SKB utökad kontroll på proportioneringen såväl som gjutförhållandena. Små variationer i proportioneringen eller de ingående materialens kvalitet kan resultera i ett antal produktionstekniska problem. I stora drag kan de tekniska problemområdena gällande SKB delas upp i problem som grundar sig på produktionssvårigheter (t.ex. proportionering, transport och gjutning) eller vars orsaker inte är helt kartlagda (t.ex. brandmotstånd, krympning och formtryck)

Byggprocessororienterade hinder för implementering av ny betongmaterialteknik

Vad gäller icketekniska hinder för implementering av nya materialtekniker kan dessa sammanfattas enligt nedan:

- Organisation (brist på samverkan, kunskapsnivå, erfarenhetsåterföring, ansvarsfrågor etc.)
- Ekonomi (fokus på inköpspris för material, suboptimering där ökade materialkostnader ej vägs mot minskade produktionskostnader, merkostnader i samband t.ex. extra provtagning, prissättning etc.)
- Byggnormer (begränsningar, användande av höga materialvärden kan kräva omfattande provning etc.)

Ny betongtekniks totala potential

Projektet visar på flera möjligheter för rationellt platsgjutet stombyggande vid användande av ny betongteknik (HPB och SKB) jämfört med konventionell betong. Även hinder för implementering beskrivs. För att kunna utnyttja ny betongtekniks totala potential inom husbyggande och därmed erhålla synergieffekter istället för att suboptimera vissa egenskaper, bör stor vikt läggas vid god planering om man skall kunna erhålla en kostnadseffektiv lösning även i ett längre perspektiv.

Referenser

[1] FEM- Design Plate 3.50, PC-program, Malmö: Skanska IT Solutions, 2000.

[2] TorkaS 1.0, PC-program, Lund: LTH, Institutionen för Byggnadsteknik, 1998.

[3] Hett 97, PC-program, Stockholm: SBUF, NCC AB, Cementa AB, 1997.

[4] Fundia Armering AB, Bamtec-systemet, Foto: Fundia