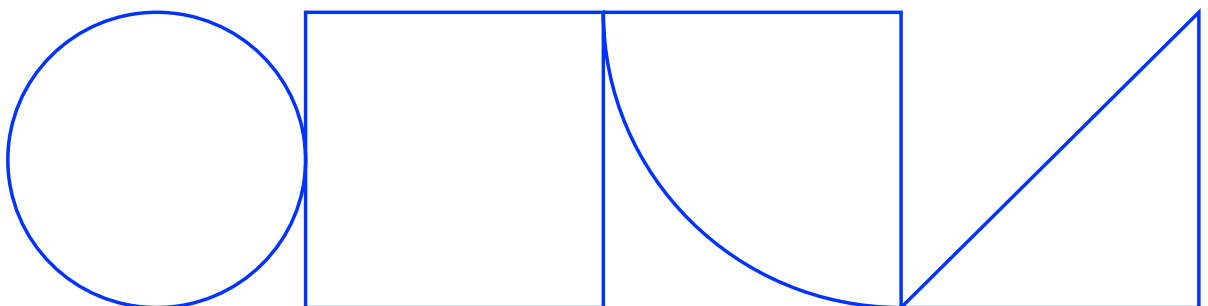


Stombyggande med platsgjuten betong – industriellt, klimatoptimerat

Redaktör: Christina Claeson-Jonsson
NCC Sverige AB

2026-03-12



Förord

Föreliggande rapport redovisar resultatet av projektet ”*Stombyggnad med platsgjuten betong – industriellt, klimatoptimerat*” vars syfte har varit att utveckla en klimatförbättrad och robust stombyggnadsprocess för platsgjuten betong kopplad till prognosprogram och uppföljning av betongs hållfasthetstillväxt och uttorkning.

Projektet har varit finansierat genom medel och egeninsatser från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, NCC Sverige AB, Heidelberg Materials Betong Sverige, Plan B AB och Luleå Tekniska Universitet.

Projektets arbetsgrupp har bestått av:

Mats Emborg, Projektledare (Heidelberg Materials Betong AB och Luleå Tekniska Universitet), Jonas Carlswärd (Heidelberg Materials Betong AB), Thomas Olofsson (Luleå Tekniska Universitet), Nilla Olsson, Mikael Lundström och Christina Claeson-Jonsson (NCC Sverige AB), Håkan Norberg och Rogier Jongeling (Plan B AB).

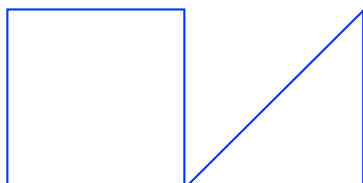
I projektets referensgrupp har medverkat Martin Bjerring (JM), Robert Larsson (Heidelberg Materials Cement, Sverige), Daniel Eriksson (Deflexional AB) samt Ingemar Lövgren (Thomas Concrete Group).

Under projektets slutförande har Daniel Eriksson (Deflexional AB) bidragit med en ansenlig analysinsats av betonghårdning med Comsol Multiphysics med fokus på vinterförhållanden och uttorkning under olika årstider och väderförhållanden. Anders Hösthagen (Bostek) har utfört kompletterande hårdningsanalyser med Abaqus.

Bidrag till arbetet har även erhållits genom examensarbete av Gustav Källgården (BI Dry 3.0 analyser) samt från Tobias Nordlund (HETT22 analyser). Arbetsplatsen Utsikten i Skellefteå gav intressanta mätningar och generella inspel till arbetet.

Vi vill rikta ett stort tack till deltagare i referensgruppen för värdefulla inspel och stöd under projektets gång.

/Arbetsgruppen 260312



Sammanfattning

Denna rapport redovisar resultatet från utvecklingsprojektet *Stombyggande med platsgjuten betong – industriellt, klimatoptimerat*. Projektets övergripande mål har varit att stärka planerings- och beslutsstödet för stombyggande med platsgjuten betong, med särskilt fokus på hur klimatförbättrade betonglösningar kan kombineras med robust och förutsägbar produktion under varierande väderförhållanden.

Bakgrunden till projektet är att byggsektorn i ökande grad använder klimatförbättrade betonger för att minska klimatpåverkan. Samtidigt innebär förändrade bindemedelssammansättningar nya förutsättningar för betongens tidiga hållfasthetsutveckling, temperaturförlopp och uttorkning. Dessa egenskaper är direkt styrande för centrala produktionsbeslut såsom gjutintervall, formrivning, stämphantering och planering av efterföljande arbeten. Etablerade tumregler och erfarenhetsbaserade arbetssätt är inte alltid tillräckliga när nya betonglösningar används, särskilt vid gjutning vid kall väderlek.

Arbetet har fokuserat på tre sammanhängande leveranser:

1. en tydliggörande beskrivning av stombyggnadsprocessens informations- och beslutspunkter,
2. en prognosdatabank baserad på serieberäkningar av temperaturutveckling, tidig hållfasthetstillväxt och uttorkning,
3. ett digitalt planeringsstöd i form av en prototyp där prognosresultat kopplas till kostnads- och klimatpåverkan och visualiseras som beslutsunderlag.

Serieberäkningar har genomförts för representativa typfall av väggar och bjälklag, där betongkvalitet, gjuttemperatur, väderförhållanden och olika vinteråtgärder har varierats. Resultaten visar att skillnader i väder och utförandestrategi kan ge stora variationer i tid till säker formrivning och i uttorkningstid, med direkt påverkan på produktionstakt, kostnader och klimatutsläpp. I flera fall kan mer välavvägda åtgärdsval minska behovet av överkonservativa lösningar och samtidigt ge lägre klimatpåverkan i byggskedet.

Den framtagna prototypen för planeringsstöd demonstrerar hur prognosdata kan användas praktiskt av entreprenörer vid tidig planering, inför arbetsberedning och under pågående produktion. Genom beslutstavlor kan olika kombinationer av betongval och åtgärder jämföras utifrån krav på tid, kostnad och klimatpåverkan, vilket ger ett transparent och jämförbart beslutsunderlag.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Syfte och leveranser	6
1.3	Effekter och nytta	8
1.4	Genomförande	9
1.5	Begränsningar	9
1.6	Disposition	10
2	Byggprocess för stombyggnad med platsgjuten betong	11
2.1	Platsgjuten stombyggnad och väderpåverkan	11
2.2	Planering i olika skeden av byggprocessen	11
2.3	Informationsbehov och beslutsunderlag	12
2.4	Arbetsbeskrivningar och utförandedokument	13
2.5	Utförandedokument – tillkommande detaljering betongbyggande	14
2.6	Sammanfattande iakttagelser från processgenomgången	15
3	Betongegenskaper	16
3.1	Tidig hållfasthetsutveckling och temperaturpåverkan	16
3.2	Uttorkning och dess betydelse för fortsatt byggande	19
3.3	Klimataspekter kopplade till planeringsbeslut	21
4	Prognosdatabank för vintergjutning och uttorkning	22
4.1	Förutsättningar och motiv	22
4.2	Prognosdatabank för betonggjutning	23
5	Prototyp Planeringsstöd	30
5.1	Prototypens tre bärande komponenter	30
5.2	Datakällor och dess relationer	32
5.3	Beslutstavlor	34
5.4	Exempel på tillämpning	36
6	Sammanfattande slutsatser och rekommendationer	41
6.1	Projektets huvudsakliga resultat	41
6.2	Praktiskt bidrag till stombyggnadsprocessen	41
6.3	Slutsatser	42
6.4	Rekommendationer för fortsatt utveckling och forskning	42
7	Referenser	43
	Bilagor A-H (Separat dokument)	

1 Inledning

1.1 Bakgrund

1.1.1 Betong och klimatutmaningen i byggandet

Bygg- och anläggningssektorn står inför betydande utmaningar kopplade till klimatpåverkan, där betong som material har en central roll. Under de senaste åren har omfattande arbete bedrivits inom branschen för att minska klimatavtrycket från betongprodukter, bland annat genom utveckling av klimatförbättrade bindemedel och effektivare produktionsprocesser. Dessa insatser har resulterat i en snabbt växande tillgång till betongprodukter med lägre klimatpåverkan än traditionella lösningar.

Samtidigt innebär införandet av klimatförbättrade betonger nya förutsättningar i utförandeskedet. Förändrade materialsammansättningar påverkar betongens tidiga egenskaper, såsom hållfasthetstillväxt, temperaturutveckling och uttorkning. Dessa egenskaper är i sin tur avgörande för planering och genomförande av stombyggnadsprocessen, särskilt vid platsgjutna betongstommar där produktionstakten och utförandebesluten är starkt beroende av aktuella förhållanden.

Trots att klimatförbättrade betonger i dag används i allt större omfattning saknas ofta ett sammanhållet och praktiskt tillämpbart beslutsstöd som kan stödja projektering och planering när nya materialval kombineras med varierande väderförutsättningar. Detta skapar osäkerhet i produktionsplaneringen och risk för ineffektiva eller överkonservativa lösningar.

1.1.2 Väderhänsyn i stombyggnadsprocessen med platsgjuten betong

Stombyggnadsprocessen med platsgjuten betong påverkas i hög grad av väderförhållanden. Temperatur, vind och nederbörd har direkt inverkan på betongens tidiga egenskapsutveckling och därmed på möjligheten att fatta välgrundade beslut om exempelvis gjutordning, formhantering, produktionstakt och tidpunkter för avformning. Förändringar i väderförhållandena beroende på klimatförändringar ger också nya utmaningar i byggandet.

Vid införandet av klimatförbättrade betonger blir behovet av medvetna och väl underbyggda planeringsbeslut ännu mer väsentligt. Skillnader i materialegenskaper jämfört med traditionell betong kan innebära att etablerade tumregler och erfarenhetsbaserade arbetssätt inte alltid är tillräckliga. I praktiken hanteras dessa frågor ofta fragmenterat, där olika aktörer och discipliner använder separata underlag och verktyg, vilket försvårar en helhetssyn på stombyggnadsprocessen.

Avsaknaden av ett strukturerat planeringsstöd som kan sammanföra information om materialval, väderförutsättningar och utförandestrategier

innebär att klimat- och produktionsrelaterade beslut riskerar att baseras på begränsat eller osammanhängande beslutsunderlag. Detta kan i sin tur leda till ökade kostnader, förseningar eller minskad robusthet i utförandet.

1.1.3 Industrialiserat stombyggande och behovet av robust planering

Utvecklingen mot ett mer industrialiserat byggande ställer ökade krav på förutsägbarhet och repeterbarhet i stombyggnadsprocessen. Ett industrialiserat angreppssätt förutsätter att kritiska beslut kan fattas tidigt och baseras på tillförlitliga underlag som tar hänsyn till både tekniska och produktionsmässiga aspekter.

För platsgjutna betongstommar innebär detta ett behov av planeringsmetoder och verktyg som kan hantera variationer i väder, samtidigt som klimatförbättrade materiallösningar tillämpas. Ett sådant planeringsstöd behöver kunna belysa konsekvenser av olika utförandescenarier och bidra till jämförbara och transparenta beslutsunderlag för projektets aktörer.

I dagsläget saknas i stor utsträckning integrerade verktyg som kopplar samman beräkningsresultat, prognoser och praktiskt användbar information för planering av stombyggnadsprocessen. Detta begränsar möjligheten att fullt ut nyttja potentialen i både industrialiserat byggande och klimatoptimerade betonglösningar.

1.1.4 Projektets utgångspunkt

Mot denna bakgrund har detta projekt initierats. Utgångspunkten är behovet av att stärka planeringsstödet vid stombyggande med platsgjuten betong genom att på ett strukturerat sätt hantera samspelet mellan klimatförbättrade material, väderförutsättningar samt utförandebeslut i produktionen.

Projektet tar sin utgångspunkt i att förbättrad tillgång till sammanhållen och visualiserad information kan bidra till mer robusta, jämförbara och klimatoptimerade planeringsbeslut. Detta ligger till grund för projektets syfte, leveranser och förväntade nytta, vilka beskrivs i efterföljande kapitel.

Tidigare genomförda studier, Smart Built Environment-projekten *Uppkopplad byggplats*¹ samt *Digitaliserat stombyggande med platsgjuten betong* (Emborg et al., 2020) har utgjort en värdefull startpunkt för föreliggande projekt som kompletterar tidigare resultat med dess fokus på visualiserat planeringsstöd.

1.2 Syfte och leveranser

Syftet med detta utvecklingsprojekt är att utveckla ett förbättrat planeringsstöd för stombyggande med platsgjuten betong, med fokus på att stödja robusta och klimatoptimerade beslut i utförandeskedet. Projektet adresserar de utmaningar

¹ <https://www.smartbuilt.se/projekt/innovationer-och-nya-tillaempningar/uppkopplad-byggplats/>

som uppstår när klimatförbättrade betongmaterial kombineras med varierande väderförhållanden, där befintliga arbetssätt och erfarenhetsbaserade metoder ofta är otillräckliga.

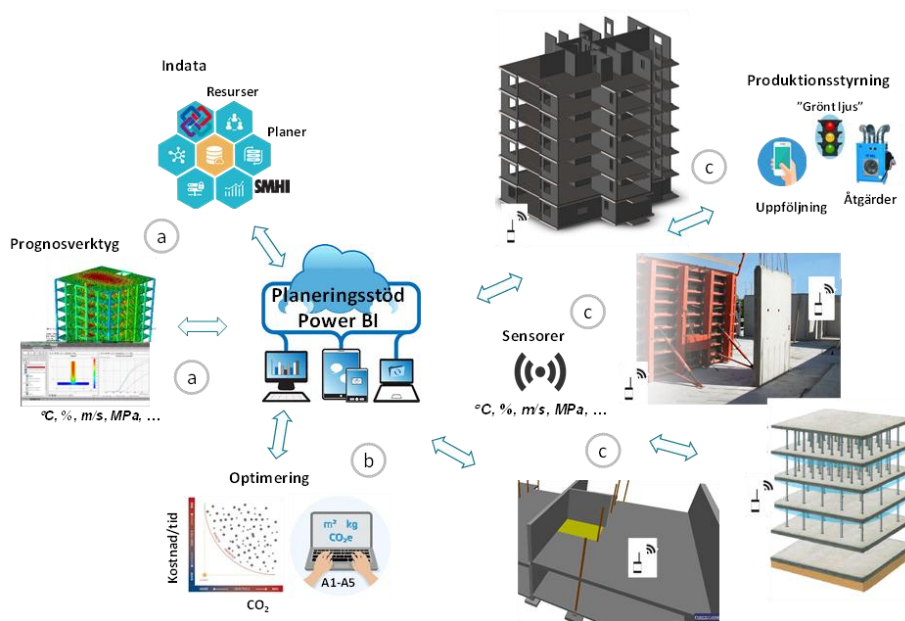
Projektets ambition är inte att utveckla nya betongmaterial, utan att skapa bättre förutsättningar för planering och beslutsfattande genom att strukturera, analysera och visualisera relevant information kopplad till stombyggnadsprocessen. Därigenom ska projektet bidra till ökad förutsägbarhet, jämförbarhet och transparens i planeringsbeslut.

De huvudsakliga leveranserna från projektet är:

- **En övergripande stombyggnadsprocess**, där behov av information och beslutspunkter kopplade till väderpåverkan tydliggörs.
- **En prognosdatabank**, baserad på serieberäkningar av temperatur, hållfasthetstillväxt och uttorkning, som utgör ett gemensamt beräknings- och analysunderlag.
- **Ett digitalt planeringsstöd i form av en prototyp**, där resultat från prognosdatabanken visualiseras och görs tillgängliga som beslutsunderlag för olika utförandescenarier.

Dessa leveranser är nära sammankopplade och ska tillsammans bidra till att överbrygga gapet mellan avancerade beräkningsresultat och praktiskt användbar information i planerings- och produktionskedet.

Det digitala planeringsverktyget, här kallad Prototyp Planeringsstöd, utformades således enligt idéskissen i Figur 1 med **Indata**, dvs förutsättningar (a), **Utdata**, dvs resultat (b) samt **Återkoppling, produktionsstyrning** (c). Det är värt att tydliggöra att planeringsstödet alltid måste kompletteras med domänkompetens, i detta fall en djupare kunskap om betong.



Figur 1 Planerings- och uppföljningsmetodik för stombyggande, "Prototyp planeringsstöd" (i mitten). Indata från bland annat SMHI, produktionsplaner, prognosverktyg med mera (a), optimering, presentation med mera (b), kommunikation objekt (bland annat sensorer betong/form (☺)), produktionsstyrning med mera (c).

1.3 Effekter och nytta

Projektets förväntade nytta ligger i att stärka beslutsunderlaget vid planering av platsgjutna betongstommar, särskilt i projekt där klimatförbättrade material används och där väderförhållanden har stor påverkan på utförandet.

Genom att samla och strukturera information om materialegenskaper, väderförutsättningar och utförandestrategier i ett sammanhållet planeringsstöd kan projektets resultat bidra till:

- bättre förståelse för konsekvenser av olika planerings- och utförandebeslut,
- minskad osäkerhet vid val av produktionstakt, gjutordning och formhantering,
- ökad robusthet i stombyggnadsprocessen genom mer välgrundade och jämförbara beslut.

På längre sikt kan ett sådant planeringsstöd även bidra till effektivare resursutnyttjande och minska behovet av överkonservativa lösningar, vilket är en förutsättning för att fullt ut kunna tillämpa klimatoptimerade betonglösningar i praktiken.

1.4 Genomförande

Projektet har genomförts genom en kombination av litteraturstudier, analys av befintliga arbetsätt samt framtagning och användning av beräknings- och analysunderlag. Arbetet har fokuserat på att identifiera vilka typer av information som är relevanta i olika skeden av stombyggnadsprocessen och hur dessa kan struktureras för att stödja planeringsbeslut.

Serieberäkningar har genomförts för utvalda typfall av stombyggnad, där temperaturutveckling, hållfasthetstillväxt och uttorkning analyserats under varierande väderförhållanden. Resultaten från dessa beräkningar har sammanställts i en prognosdatabank som utgör grunden för projektets planeringsstöd.

Den digitala prototypen har utvecklats för att visualisera och tillgängliggöra resultaten på ett överskådligt sätt, med ambitionen att stödja jämförelser mellan olika utförandescenarier snarare än att leverera exakta produktionsplaner.

Följande arbetspaket, förutom rapportering, utformade projektet:

AP1. Allmänna förutsättningar, datahantering etc: Planer, materialval, gjutordning, formtyper, klimatambitioner. Status materialegenskaper.

AP2. Prognosprogram/analyser: Översikt prognosprogram temperatur, mognad, uttorkning; modellering, tillgänglighet etc. Beräkningar; vinterscenarier, formhantering, uttorkning, tidig frysning. Klimatbelastning.

AP3. Planeringsmetodik: Översikt byggprocess; informationsbehov, planering i olika skeden etc. Optimeringsmetoder för t ex miljö. Prototyp för stomdriftplaner.

AP4. Sensorer och produktionsövervakning/kommunikation: Översikt system för installation, kommunikation etc. Möjligheter till automatisk övervakning/information på bygget, t ex "grönt ljus" för formrivning.

AP5. Fullskalestudier: Mätning betongegenskaper - jämförelser med prognoser, möjligheter till test av planeringsverktyg.

AP6. Analys: Återkoppling formulerade frågeställningar. Utvärdering prototyp metodiken som framtida planeringssystem; hur kan den kopplas till uppföljningar av egenskaper, utformning av kommunikation från sensorer på arbetsplats etc? Hur kan direktjustering ske inför framtida gjutetapper? Klimataspekter.

1.5 Begränsningar

Projektet har avgränsats till att fokusera på planeringsstöd och beslutsunderlag i stombyggnadsprocessen och omfattar inte utveckling av nya betongrecept eller fullskalig implementering i produktionssystem.

Fyra tekniska skeden och tillhörande utmaningar har studerats vid uppförande av stommar under kallare väderleksförhållanden: Vintergjutningsutförande och tidig frysning av konstruktionsdelar (Bilaga B), Prognoser för formrivning väggar (Bilaga C) och 3D prognoser temperatur hållfasthet i vägg och bjälklag (Bilaga D), Formrivning och stämphantering bjälklag (presenteras i Bilaga E). Dessutom presenteras uttorkning i Bilaga F.

Andra fenomen, exempelvis tidiga plastiska sprickor, sprickor i senare skeden, formtryck och ytkvalitet ingår inte i denna studie men bör kunna följas upp och planeras på liknande sätt.

Studiens fokus ligger på planeringskedan: en tid före och nära inpå gjutning samt uppföljning under gjutning/härdning och efterföljande hantering (justering inför kommande etapper, erfarenhetsuppbyggnad etc).

Analyser har skett för ett par uppsättningar av betongkvaliteter för väggar och bjälklag – det senare med två prestandanivåer av uttorkningsbetonger. Varje kvalitet representeras av referensbetong och tre nivåer av klimatförbättring, vars tekniska inmätta data erhållits från en betongleverantör. Det innebär att resultatens tendenser i viss mån kan gälla för motsvarande betongkvaliteter från andra leverantörer men avstämning av tekniska prestanda bör alltid ske.

Beträffande miljödata och priser för betong, samt energibehov, materialkostnader och arbetsinsatser för åtgärder är dessa approximativt antagna. Stora variationer finns exempelvis beträffande energiförhållanden med avseende på lokal energimix. I studien ingår inte analys av miljöbelastning för standardmässig hantering av betong på arbetsplats (A5), till exempel pumpning, eventuell vibrering och ythantering. Miljöbelastning för transport (A4) ingår inte.

Beträffande åtgärder, "vinteråtgärder", har studier skett av endast ett par åtgärder. Många andra möjligheter finns, som att exempelvis påskynda hydratationen i kall väderlek.

Den digitala lösningen som tagits fram inom projektet är en prototyp och ska betraktas som en demonstrations- och utvecklingsplattform. Vidareutveckling, validering mot fler projekt samt integration i ordinarie produktions- och planeringssystem ligger utanför projektets omfattning.

1.6 Disposition

Efter detta kapitel följer en övergripande beskrivning av stombyggnadsprocessen och dess informationsbehov (kapitel 2). Därefter behandlas de betongtekniska parametrar som har betydelse för utförandet samt hållbarhets- och miljöaspekter kopplade till stombyggande (kapitel 3). Prognosdatabanken och dess uppbyggnad redovisas i kapitel 4, följt av beskrivning av det digitala planeringsstödet i kapitel 5. Rapporten avslutas med en sammanfattande analys och diskussion i kapitel 6.

Ett fördjupande kunskapsdokument kompletterar denna rapport, se Emborg et al. (2026).

2 Byggprocess för stombyggnad med platsgjuten betong

Detta kapitel beskriver byggprocessen för stombyggnad med platsgjuten betong med fokus på planering, informationsflöden och beslutspunkter i olika skeden. Beskrivningen avser i huvudsak etablerad praxis i dagens byggprojekt och syftar till att tydliggöra var i processen väderrelaterade förutsättningar har särskild betydelse.

Kapitlet har inte som ambition att beskriva nya arbetssätt eller verktyg, utan att skapa en gemensam referensram för hur stombyggnadsprocessen normalt är uppbyggd. Denna genomgång utgör en grund för att senare i rapporten kunna visa var projektets leveranser tillför struktur, beslutsstöd och förbättrade förutsättningar för planering.

2.1 Platsgjuten stombyggnad och väderpåverkan

Platsgjuten betong är en vanligt förekommande metod för stombyggnad och kännetecknas av att stora delar av produktionen sker på byggarbetsplatsen. Detta innebär att utförandet i hög grad påverkas av rådande väderförhållanden. Temperatur, nederbörd och vind har direkt inverkan på betongens tidiga egenskapsutveckling och därmed på möjligheten att genomföra planerade arbetsmoment enligt tidplan.

Väderpåverkan får särskilt stor betydelse under perioder med låga temperaturer, då åtgärder för att säkerställa tillräcklig hållfasthetsutveckling och undvika skador måste vidtas. Samtidigt kan även varma och torra förhållanden påverka exempelvis uttorkningsförlopp och ytkvalitet. Dessa aspekter gör att stombyggnadsprocessen präglas av ett behov av löpande anpassning till aktuella förhållanden.

I praktiken hanteras väderrelaterade frågor ofta genom erfarenhetsbaserade bedömningar och generella riktlinjer. Detta fungerar i många fall väl, men kan bli utmanande när nya betonglösningar används eller när produktionsförutsättningarna avviker från det normala.

2.2 Planering i olika skeden av byggprocessen

Planeringen av stombyggnadsprocessen sker successivt och med olika detaljeringsgrad i projektets olika skeden. I tidiga skeden ligger fokus på övergripande produktionsstrategier, val av stomprincip och preliminära

tidplaner. I detta skede är informationen ofta översiktlig och baseras på antaganden om generella väderförhållanden och normal produktionstakt.

Under projekteringskedet preciseras planeringen genom val av konstruktionslösningar, material och utförandemetoder. Här uppstår ett behov av mer detaljerad information som kan stödja beslut om exempelvis gjutordning, formtyper och produktionssekvenser. Samtidigt är osäkerheten kring framtida väderförhållanden fortfarande relativt stor.

I produktionsskedet finns tillgång till mer konkret information om faktiska förhållanden på arbetsplatsen. Planeringen behöver då kunna justeras utifrån aktuella väderförutsättningar samt utfallet av tidigare gjutetapper. Detta ställer krav på att relevant information finns tillgänglig vid rätt tidpunkt och i en form som är praktiskt användbar för projektets aktörer.

Detta projekt har tagit sitt avstamp i tidigare utförda utvecklingsprojekt inom Smart Built Environment (se Bilaga A samt Uppkollad Byggplats) men fokuserar istället primärt på arbetsledningens beslutsstöd.

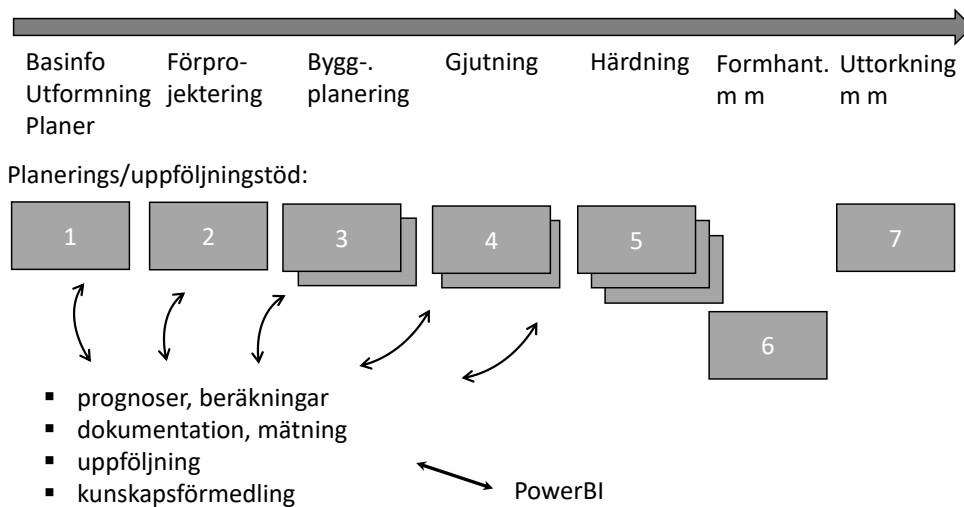
2.3 Informationsbehov och beslutsunderlag

Stombyggnadsprocessen präglas av ett stort antal beslut som direkt eller indirekt påverkas av väderförhållanden. Informationsbehovet varierar mellan olika skeden, men omfattar bland annat uppgifter om materialegenskaper, förväntade produktionsförhållanden och krav kopplade till kvalitet och säkerhet.

I många projekt är informationsunderlagen fragmenterade och spridda över flera dokument och system. Beräkningsresultat, erfarenhetsdata och utförandedokument hanteras ofta separat, vilket kan försvåra en samlad bedömning av konsekvenserna av olika planerings- och utförandebeslut.

Avsaknaden av ett strukturerat angreppssätt för att sammanställa och använda denna information innebär att beslut i praktiken ofta fattas med begränsad överblick. Detta kan leda till osäkerhet i planeringen och i vissa fall till försiktighetsmarginaler som påverkar effektiviteten i produktionen. För en väl fungerande process krävs ett sömlöst informationsflöde där informationen innehåller många komponenter: informationstyp, när den är tillgänglig för planerings- och utförandefasen, hur specifika data lagras och är nåbara för återkoppling i närtid, t ex nästkommande etapper, och även i senare tidsperspektiv dvs. i framtida objekt och då som erfarenhetsbas ("erfarenhetsbibliotek"). En viktig komponent är även hur information kan skyddas.

Projektets arbetsgrupp har valt att, för det platsgjutna stombyggandet, lämpligen identifiera sju skeden, Figur 2, där information kan hanteras av prototypen för planeringsstöd. Mer detaljer om dessa skeden finns att läsa i Emborg et al. (2026).



Figur 2 Väsentliga skeden i det platsgjutna stombygandet – hantering av information med konceptualisering av prototypen för planeringsstöd

2.4 Arbetsbeskrivningar och utförandedokument

Arbetsbeskrivningar och utförandedokument utgör en central del av stombyggnadsprocessen och syftar till att säkerställa ett korrekt och säkert utförande. Dessa dokument beskriver vanligtvis arbetsmoment, ansvarsfördelning och kontrollpunkter, men varierar i omfattning och detaljnivå mellan olika projekt och organisationer.

Kopplingen mellan arbetsbeskrivningar och väderrelaterade förutsättningar är ofta begränsad till generella anvisningar. Det saknas i många fall tydliga samband mellan övergripande planeringsantaganden och de praktiska instruktioner som används i produktionen, vilket kan försvåra anpassning vid förändrade förhållanden.

Arbetsmiljön kommer i första hand och detaljeras inledningsvis i arbetsbeskrivningen: bland annat genom utbildningskrav på säkra lyft, allmän säkerhets/arbetsmiljöutbildning angående dammalstring, vibrationer, hantering av kemikalier och gasol, risker för halka och arbete på hög höjd, krav på skyddskläder osv.

Arbetsbeskrivningen inleds med arbetsmiljöbeskrivning och följs därefter av utförandet av konstruktionsdelen med hög detaljningsnivå. För väggar beskrivs således enkling och dubbling av form, förankring av denna, stomkompletteringar (armering för ursparingar, installationer etc.). Gjutning med vibrerad betong alternativt självkompakterande betong beskrivs samt demontering av form. Ofta inkluderas en checklista för startläge och slutläge, dvs färdig väggform och avstädat bjälklag.

Beträffande gjutning och härdning tillkommer t ex arbetsberedning för generella vinteråtgärder inkluderande exempelvis värme- och isoleringsåtgärder samt uppföljning med givare.

Delar av kursmaterial Betong Klass I och II kan tillämpas.

Arbetsbeskrivningen för bjälklag följer ovan på liknande sätt. Specifikt adderas vissa åtgärder före gjutning (exempelvis förbehandling av plattbärlagsyta) och efterbehandling av ytor. Instruktioner för vinteråtgärder ska finnas även här.

Arbetsbeskrivningarna kan således kopplas på i processflödet från planeringen.

2.5 Utförandedokument – tillkommande detaljering betongbyggande

Benämningen utförandedokument nyttjas ofta i betongbyggandet. Dessa dokument behövs för att täcka in annan information (än ovan) som är väsentlig för att garantera hög slutlig kvalitet hos betongstommen. De kan t ex innehålla generella kvalitetskrav (AMA-krav) på ytjämnhet, förekomst av porer, färgvariation, fuktnivåer. Hållfasthetskrav inkluderas också med tydliga gränser för tillåtna undertramp och variationer.

Klimatkrav får ett allt större utrymme vid utformning av kriterier och vid redovisning. Klimatkalkyl A1- A5 för stomme och dess grundläggning efterfrågas ibland. Förutom betongens (och bindemedlets) klimatprestanda finns önskemål om dokumentation av vinteråtgärders energiförbrukning och energislag. Detta inbegriper både värmeslingor och avfuktare men även redovisning av användning av varm betong och andra åtgärder inkluderas. Hur och var elslingan monteras, dvs vilka stomdelar och snitt som anses vara utsatta, när de sätts på och slås av, är andra exempel på dokumentation. Eventuellt nyttjande av formisolering redovisas liksom eventuell inblandning av acceleratorer.

När det gäller uttorkning kan separat information behövas. Begreppet "tätt hus" definieras liksom "styrt uttorkningsklimat" där det senare innebär en viss lufttemperatur och relativ fuktighet. Med tätt hus menas således egentligen endast skydd mot nederbörd. Skyddet måste då säkerställas eftersom en oavsiktlig uppfuktning, om än tillfällig, får stor påverkan på uttorkningstid.

Uppföljande mätningar av temperatur och fukt bestäms och mätpunkter för känsliga lägen bör noggrant dokumenteras. När det gäller temperaturuppföljning behövs normalt inte mätningar ske på sommaren. Definition av "sommar" bör då gärna göras.

Grundläggande kriterier för arbetsmiljön vid betonghantering skall mötas. Att ha kontroll över hållfasthet i väggs nederdel vid formrivning är en väsentlig säkerhetsaspekt för att undvika okontrollerat formras.

Innan byggstart fastläses förutsättningar för stomdriften dvs tider för vägg-gjutningar och den tid de senast måste avformas. Längden på gjutetapper för väggar bestäms, de varierar beroende på hustyp.

En generell byggtakt för stommen bestäms, dvs hur många dagar för valv respektive för bjälklag. Lämpliga tidpunkter för gjutning under dagen och under veckan noteras. Att definiera dessa ger stadga åt utförandet och prognosförutsättningar.

Utformning av bjälklag varierar ofta lokalt beroende på tradition, ofta kopplat till geografi; t ex om plattbärlag väljs eller formbord med kompletterande luckformar och lösform. Huruvida isolering används istället för värmeslingor varierar även det lokalt.

2.6 Sammanfattande iakttagelser från processgenomgången

Genomgången av byggprocessen visar att stombyggnad med platsgjuten betong innefattar flera kritiska beslutspunkter där väderförhållanden har stor betydelse. Samtidigt är informationsunderlagen ofta fragmenterade och anpassas stegvis i takt med att projektet fortskrider. Detta utvecklas ytterligare i Emborg et al. (2026).

Detta skapar ett tydligt behov av bättre struktur och överblick i planeringsarbetet, särskilt i projekt där klimatförbättrade betonglösningar används och där etablerade erfarenheter inte alltid är fullt tillämpliga. Projektets bidrag tar sin utgångspunkt i denna problematik och syftar till att skapa förutsättningar för ett mer sammanhållet och jämförbart planeringsstöd, vilket utvecklas vidare i rapportens efterföljande kapitel.

3 Betongegenskaper

Detta kapitel behandlar de betongegenskaper som har störst betydelse för planering och genomförande av stombyggnad med platsgjuten betong. Fokus ligger på egenskaper som påverkar beslut om produktionstakt, formhantering och efterföljande byggmoment, snarare än på fullständig betongteoretisk beskrivning.

Kapitel 3 kombinerar en kortfattad beskrivning av etablerad kunskap med resultat från studier som genomförts inom projektet. Syftet är att tydliggöra vilka betongegenskaper som är särskilt relevanta som indata till den prognosdatabas och den prototyp planeringsstöd som utvecklas vidare i kapitel 4 och 5.

3.1 Tidig hållfasthetsutveckling och temperaturpåverkan

3.1.1 Betydelse för planering och utförande av stombyggnad

Den tidiga hållfasthetsutvecklingen hos betong är direkt styrande för flera centrala beslut i stombyggnadsprocessen, särskilt avseende formrivning, gjutintervall och möjlig produktionstakt. För platsgjutna stommar innebär detta att tidpunkten då betongen uppnår tillräcklig hållfasthet för att ta upp egenlast, tillskottslaster och eventuella montagepåverkningar är avgörande för hur arbetet kan organiseras.

I praktiken är dessa beslut ofta starkt kopplade till temperaturförhållanden under de första dygnen efter gjutning. Under kalla förhållanden kan hållfasthetsutvecklingen fördröjas avsevärt, vilket påverkar både tidsåtgång och behov av vinteråtgärder. Vid användning av klimatförbättrade betonger, där bindemedelssammansättningen kan avvika från traditionell praxis, kan utvecklingsförloppen skilja sig från vad etablerade tumregler indikerar.

För planeringen innebär detta att antaganden om produktionstakt och resursutnyttjande i hög grad är beroende av hur väl den tidiga hållfasthetsutvecklingen kan förutsägas och hanteras.

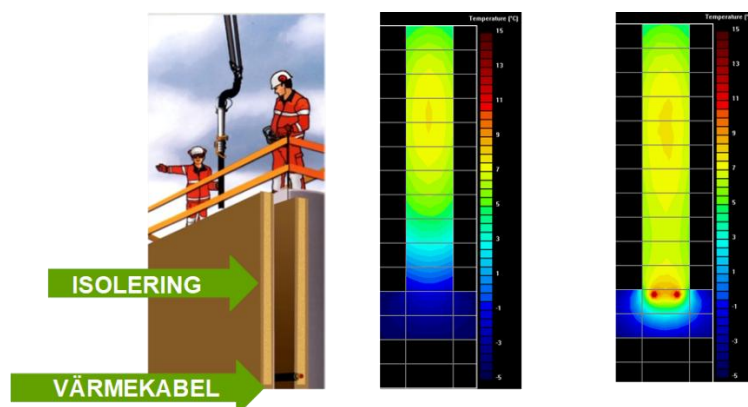
3.1.2 Temperaturberoende och praktiska osäkerheter

Det är väl känt att betongens hållfasthetstillväxt är temperaturberoende och att lägre temperaturer medför långsammare reaktionshastigheter i hydrationsprocessen. Detta får särskild betydelse i stombyggnad där formrivning och fortsatt byggande ofta planeras med små tidsmarginaler.

I praktiska projekt hanteras temperaturpåverkan ofta genom förenklade antaganden om genomsnittliga klimatförhållanden eller genom generella riktvärden för vintergjutning. Samtidigt är faktiska temperaturförlopp beroende av ett flertal faktorer, såsom konstruktionens geometri, isoleringsgrad, värmeutveckling från hydratationen och aktuella väderförhållanden.

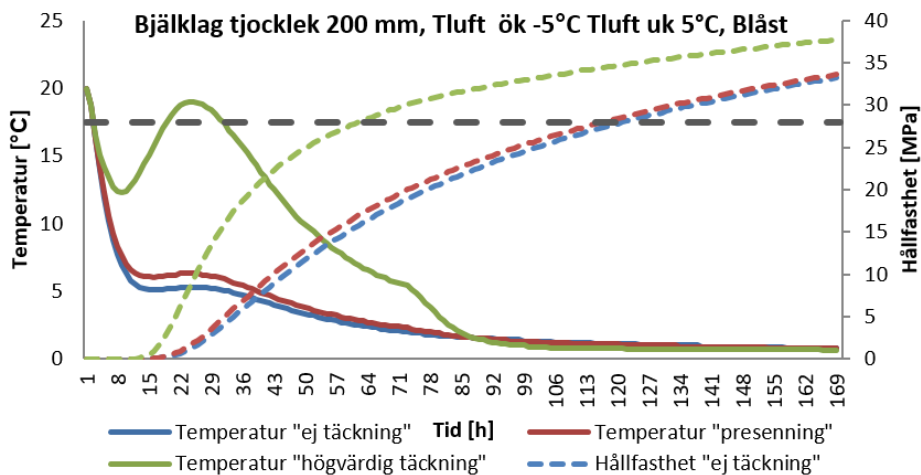
Välkända åtgärder vid vintergjutning går ut på att bibehålla färska betongens temperatur så att hydratationen kan starta och tidigt ge en fördelaktig temperaturhöjning och gynnsam fortsättning av härdningen. En tidig avkyllning kan vara förödande; temperaturfaktorn går ned mot noll, minimal hydratation sker och därmed ingen temperaturutveckling.

Hänsyn bör således tas till eventuella avkyllningseffekter vid planering av gjutning vintertid. Exempelvis kan hörn av plattor utgöra ett problem liksom urtagningar för fönster i väggar och hörn av väggar. Figur 3 visar ett skolexempel på den kanske mest kritiska, och mest omtalade, avkyllningen i en väggs nederdel mot underliggande platta. Det är effektivt att gjuta in värmeslingor, se Bilagor B och C för mer information om vintergjutning.



Figur 3 Gjutning av vägg i kallt väder (-5 °C): avkyllningseffekt i väggs nederdel från den kalla plattan (0 °C) och hur denna kan motverkas genom värmeslingor i plattan (eller vägg). Väggtopp är också isolerad. (Källa: HETT22 beräkningar, HM Betong).

Hållfasthetstillväxtens påverkan i ett bjälklag vid kallt väder om man vidtar åtgärder eller inte exemplifieras i Figur 4. En högvärdig täckning ger en positiv tillväxt som är dubbelt så snabb som om man inte gör något eller endast lägger på en presenning.



Figur 4 Gjutning av bjälklag, inverkan av täckning på temperatur och hållfasthet vid gjutning i kallt väder. Beräkningarna utförda med HETT 11. (Streckad grön linje = Hållfasthet "högvärdig täckning", Streckad röd linje = Hållfasthet "ej täckning")

Denna kombination av många samverkande faktorer innebär att osäkerheten i tidig hållfasthetsutveckling kan vara betydande. För planeringsarbetet innebär detta en risk för antingen förseningar eller överkonservativa lösningar, exempelvis i form av förlängda väntetider eller omfattande vinteråtgärder som inte alltid är nödvändiga.

3.1.3 Studier av tidig hållfasthetsutveckling inom projektet

Inom ramen för projektet har studier genomförts för att analysera hur temperaturförhållanden påverkar den tidiga hållfasthetsutvecklingen i typiska stombyggnadssituationer. Analyserna har baserats på serieberäkningar för representativa fall, såsom väggar och bjälklag, där både väderförutsättningar och utförandestrategier har varierats.

Syftet med studierna har varit att belysa spannet av möjliga förlopp snarare än att förutsäga exakta tider för enskilda projekt. Genom att studera ett större antal scenarier har projektet tagit fram ett jämförbart underlag som visar hur känslig hållfasthetsutvecklingen är för förändringar i temperatur och utförande.

Resultaten från dessa studier har strukturerats i en prognosdatabank som möjliggör jämförelser mellan olika scenarier. Detta utgör ett centralt underlag för det planeringsstöd som beskrivs i kapitel 5. Detaljerade beräkningsförutsättningar, antaganden och fullständiga resultat redovisas i bilagor till rapporten (Bilagor C och D).

Studierna visar att variationer i temperaturförhållanden kan ge stora skillnader i tidig hållfasthetsutveckling, även vid i övrigt likartade förutsättningar. Skillnader

i tid till möjlig formrivning kan uppgå till flera dygn mellan olika scenarier, vilket får direkt påverkan på produktionstakt och resursplanering.

Resultaten illustrerar även att effekten av vädervariationer ofta underskattas i tidiga planeringsskeden. Ett strukturerat sätt att belysa dessa variationer ger bättre förutsättningar att identifiera kritiska perioder i produktionen och att anpassa planeringen därefter.

3.2 Uttorkning och dess betydelse för fortsatt byggande

3.2.1 Uttorkning som planeringskritisk process

Uttorkning av betong utgör en central process för fortsatt byggande efter att stommen färdigställt. Krav på tillåten relativ fuktighet i betong påverkar tidpunkten för stomkomplettering, installationer och ytskiktsarbeten, och har därmed stor inverkan på den övergripande produktionstakten i byggprojekt.

Till skillnad från tidig hållfasthetsutveckling, som i huvudsak påverkar den direkta stomproduktionen, har uttorkningen konsekvenser som sträcker sig över längre tidsperioder och ofta in i senare produktionsskeden. För planeringen innebär detta att beslut som fattas tidigt i projektet kan få långtgående konsekvenser för möjligheten att hålla tidplaner för efterföljande arbeten.

3.2.2 Klimatpåverkan och praktiska osäkerheter

Uttorkningsförloppet i betong påverkas av ett flertal samverkande faktorer, där temperatur, relativ luftfuktighet och ventilation spelar en avgörande roll. Även konstruktionsutformning, betongens sammansättning och täthet samt val av uttorkningsstrategi har stor betydelse för hur snabbt kraven på tillåten fuktnivå kan uppnås.

I praktiska projekt hanteras uttorkning ofta med förenklade antaganden eller erfarenhetsbaserade riktvärden. Samtidigt kan variationer i uttorkningsklimat och utförande ge stora skillnader i faktisk uttorkningstid. Detta innebär en betydande osäkerhet i planeringen, särskilt i projekt med höga krav på korta byggtider eller där klimatförbättrade betonglösningar används.

Osäkerheten förstärks av att uttorkningsprocessen ofta pågår parallellt med andra byggaktiviteter, vilket gör det svårt att i efterhand korrigera planeringen utan att påverka flera delar av produktionen.

3.2.3 Studier av uttorkning inom projektet

Inom projektet har studier genomförts för att analysera uttorkningsförlopp i typiska stombyggnadssituationer. Studierna har baserats på prognosberäkningar för representativa bjälklag och stomdelar, där effekten av olika uttorkningsklimat och uttorkningsstrategier har analyserats.

Syftet med studierna har varit att belysa variationer i uttorkningstid och att skapa ett jämförbart underlag för planeringsbeslut, snarare än att leverera exakta prognoser för enskilda projekt. Resultaten har strukturerats så att de kan användas för att jämföra olika scenarier och identifiera kritiska förutsättningar för uttorkning.

Resultaten från uttorkningsstudierna ingår i projektets prognosdatabank och används som indata till det planeringsstöd som beskrivs i kapitel 4 och 5. Fördjupade beräkningsförutsättningar, antaganden och resultat redovisas i bilagor F och G till rapporten. Mer detaljerad utredning, t. ex. angående årstidsvariationer och deras påverkan på självuttorkning respektive diffusionsuttorkning finns i Emborg et al. (2026).

Studierna visar att uttorkningstider kan variera kraftigt beroende på uttorkningsklimat och valda utförandestrategier. Skillnader i tid till uppnådd tillåten relativ fuktighet kan uppgå till flera månader mellan olika scenarier, vilket får direkt påverkan på möjligheten att planera och samordna efterföljande byggmoment.

Resultaten illustrerar även att uttorkningsprocessen ofta underskattas i tidiga planeringsskeden, trots att den i många fall utgör en kritisk faktor för projektets totala genomförandetid. Ett strukturerat sätt att belysa variationer i uttorkningstid ger bättre förutsättningar att identifiera realistiska tidpunkter för stomkomplettering och att minska risken för sena justeringar i produktionen.

Den komplexa uttorkningen kan sammanfattas för de huvudsakliga påverkansfaktorerna enligt:

- **Hydratation:** Är gynnsam för självuttorkningen. Eftersom hydratationen är grunden till all egenskapstillväxt i betongen är följande påverkansfaktorer kritiska: cement/bindemedel, vbt, tillsatsmedel, temperatur etc. I fuktsammanhang tillkommer även påverkan från porstruktur och hydratationsgrad.
- **Temperaturen:** Inverkan är tvåfald dvs ger både positiv och negativ inverkan på uttorkningen.
- **Betongtäthet:** Den faktor som har störst inverkan på diffusionsuttorkningen. Påverkas av betongsammansättning, hydratationsgrad och porstruktur.
- **Torkklimat:** T_{luft} och RH_{luft} , sol, vind, golvvärme, nederbörd.
- **Geometri påverkar diffusionsuttorkningen:** tjocklek, enkel/dubbelsidig – (det finns även en viss påverkan på självuttorkningen – massiva konstruktioner innebär högre temperaturer).
- **Yta:** Tillfällig täckning med hänsyn till härdning, längre täckning, täckningsmaterial, membranhärdare, beläggning, mattor

Beträffande betongsammansättning visar prognosstudierna att:

- Hög betongkvalitet ($vbt < 0.45$) – innebär stor självuttorkning som ger snabb RH-sänkning. Begränsad fukttransport sker, dvs långsam diffusionsuttorkning. Dessa betonger benämns ibland självuttorkande.
- Normal betongkvalitet ($0.45 < vbt < 0.60$) – ger måttlig självuttorkning och är mer beroende av fukttransport. I det lägre vbt-spannet benämns dessa ofta snabbtorkande.
- Låg betongkvalitet ($vbt > 0.60$) – innebär liten självuttorkning. RH-sänkning i betongen måste därför huvudsakligen ske genom fukttransport. Normala husbyggnadsbetonger.

Dock visar andra materialstudier en mer komplex påverkan vid ändring av *vbt*. Dessa visar att inte bara *vbt* påverkar uttorkningen utan även bindemedelstyp har stor inverkan, vilket inte fångas fullt ut av dagens prognosverktyg.

Sammanfattningsvis visar studierna att tillgång till jämförbara prognosunderlag för uttorkning är en viktig förutsättning för robust och förutsägbar planering av byggprocessen efter att stommen färdigställts.

3.3 Klimataspekter kopplade till planeringsbeslut

De betongegenskaper som behandlats i detta kapitel har inte enbart teknisk betydelse för stombyggnadens genomförande, utan påverkar även byggskedets klimatpåverkan. Val av utförandestrategi, produktionstakt och åtgärder för temperatur- och fukthantering kan i praktiken få stor betydelse för projektets samlade klimatavtryck.

Studierna inom projektet visar att planeringsbeslut kopplade till tidig hållfasthetsutveckling, formrivning och uttorkning ofta fattas med begränsat beslutsunderlag, vilket kan leda till överkonservativa lösningar och energikrävande åtgärder i byggskedet. Därmed riskerar en del av den klimatnytta som uppnås genom klimaförbättrade betonglösningar att reduceras.

Ett mer strukturerat planeringsstöd, baserat på jämförbara prognosunderlag, skapar förutsättningar för att integrera tekniska och klimatrelaterade överväganden i ett tidigt skede. Detta är en central utgångspunkt för projektets fortsatta arbete med prognosdatabank och planeringsstöd, som beskrivs i kapitel 4 och 5.

4 Prognosdatabank för vintergjutning och uttorkning

4.1 Förutsättningar och motiv

De klimatförbättrade betongprodukterna innebär att utgångspunkter och ansatser för att beräkna hållfasthetstillväxt och uttorkning av de platsgjutna komponenterna (pelare/väggar/valv) som krävs för planeringen behöver ses över. Exempelvis är kunskapen något bristande om hur nya hållbara bindemedelskombinationer presterar i kallt väder – det traditionella verkningssättet för egenskapstillväxt är troligen inte desamma. Enkelt uttryckt är det inte säkert att de erfarenhetsmässiga tumreglerna, använda under många år, nu håller under vinterhalvåret.

Dessutom införs snart krav på klimatdeklaration med utsläppsgränser för hela strukturer innebärande att förutom tid, kostnad och kvalitet blir det bli nödvändigt att också ha kontroll på klimatutsläppen i byggandet.

Som konsekvens behövs bättre produktionsplanering, produktionsstyrning och uppföljning av hållfasthetsutveckling, uttorkning, kostnader och klimatpåverkan. Här har, som tidigare nämnts, digitaliseringen öppnat för mer avancerad planering och styrning av byggprocessen. Användning av sensorer och analysverktyg möjliggör nu noggrannare kontroll och analys av betongens egenskaper under hela produktionskedjan.

Vår planeringsprototyp (se nästa kapitel), som avser att förenkla arbetet med att ta fram underlaget till planeringsarbetet och uppföljning, behöver information om lokala förutsättningar för objektet (väderlek, betongegenskaper, typfallets geometri, utförande etc). Även tidigare prognoser/mätningar samt gärna externa studier/mätningar och inte minst kunnande och erfarenhet underlättar framtagning av indata till planeringsprototypen.

Beräkningarna i kapitel 4.2 (detaljerat redovisat i Bilagor C och G) är ett exempel på hur prognosunderlag kan presenteras i tabellform med färgkoder för acceptansnivå vid vintergjutning. Beräkningarna kan utan problem uppdateras för andra situationer och med andra betongkvaliteter.

I detta projekt har vi valt att skapa ett mer heltäckande underlag till planeringen för situationerna vintergjutning och uttorkning. En första version av en prognosdatabank har tagits fram och vävts ihop med erfarenheter från tidigare teknik- och klimatresonemang.

De allmänna ”nya” förutsättningarna med skärpta krav på klimatbelastningar har medfört nya bindemedelskombinationer vilket kräver noggrannare hänsynstagande vid utförandet. Utmaningar finns vid gjutning och tidig härdning i kall väderlek (< 5 °C) samt i ett längre tidsperspektiv under uttorkningen fram till exempelvis mattläggning. Noggrannare

produktionsstyrning eftersträvas där uppföljning av hållfasthetsutveckling och uttorkning utgör en viktig kontrollpunkt.

4.2 Prognosdatabank för betonggjutning

En förutsättning för att skapa en relevant produktionsplan för platsgjutna betongstommar är således tillförlitliga prognoser om de härdningsförlopp inkluderande den uttorkning och de väderförhållanden som kommer att råda på produktionsplatsen. På samma sätt som SMHI har prognoser, realtidsinformation och historiska data om väderförhållanden i Sverige, skulle en prognosdatabank för betonggjutning kunna innehålla information över hur olika betongkvaliteter tekniskt presterar under härdningen och uttorkningen och även om de klimatutsläpp som sker.

För att skapa en första prognosdatabank har grundprogramvaran Comsol Multiphysics², utgörande stommen till beräkningsverktygen HETT22³ (betonghärdning) och BI Dry⁴ (uttorkning), använts. Detta möjliggör ett större antal serieberäkningar där flera ingångsparameter kan varieras.

Prognoserna kan sedan användas tillsammans med kostnads- och klimatanalyser för att optimera val av betongblandningar och åtgärder beträffande vintergjutning av väggar och valv eller uttorkning av betongbjälklag. Prognoser som sedan kan följas upp av realtidsmätningar som sedan blir historiska data i prognosdatabanken.

Serieberäkningar av fyra typfall har genomförts där betongblandning, omgivande väderförhållande, betongmassan gjuttemperatur och olika åtgärder som används för att påskynda härdningsprocess och uttorkning har varierats.

Följande typfall har serieberäknats:

1. Gjutning av vägg på betongbjälklag – 644 varianter
2. Gjutning av valv med traditionellt formsystem – 1344 varianter
3. Gjutning av valv på plattbärlag – 1056 varianter
4. Uttorkning av betongbjälklag – 192 varianter

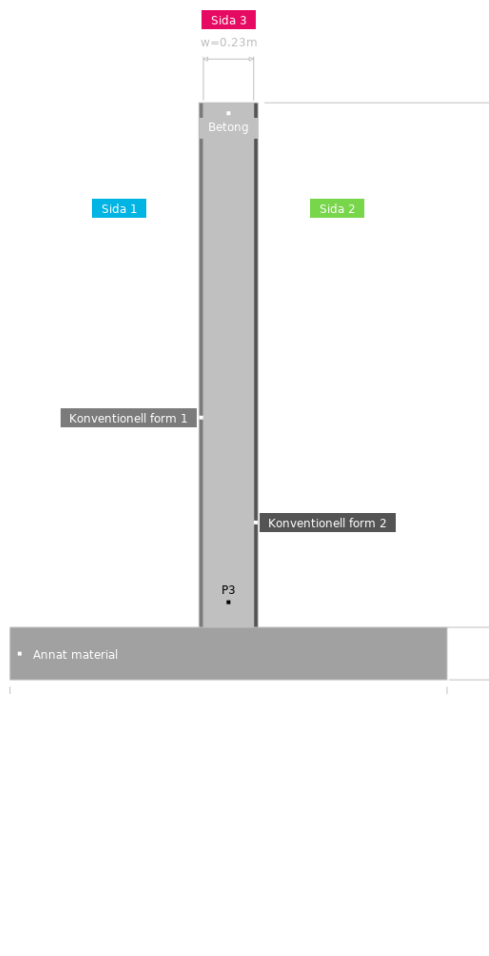
För att demonstrera hur olika åtgärder kan påverka kostnader och klimatutsläpp ges exempel på vilka indata som krävs och hur påverkan kan beräknas. De fyra typfallen presenteras i detalj i Bilaga G men för att illustrera metodiken så presenteras övergripande Typfall 1 nedan.

² [COMSOL - Software for Multiphysics Simulation](#)

³ [Prognosverktyg HETT22 | Heidelberg Materials Cement Sverige](#)

⁴ [BI Dry beräknar uttorkningsförlopp i betongkonstruktioner | Heidelberg Materials Betong Sverige](#)

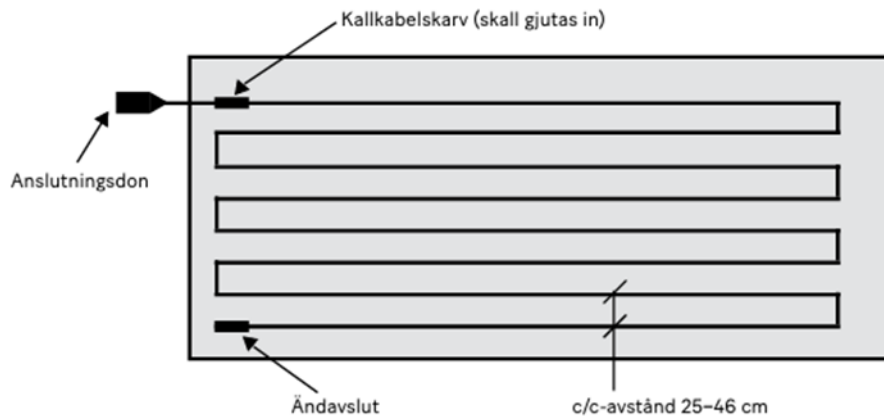
4.2.1 Typfall 1 Gjutning av vägg på betongbjälklag

<p>Vägg: 2400 x 230 mm och betongbjälklag: 240 mm Betong: evoBuild C30/37, tre klimatnivåer. Täckning av formtopp användes i alla serie-beräkningar. Vindstilla.</p> <p>Följande indata varierades:</p> <ul style="list-style-type: none">• Betong: Referens, Nivå 1, Nivå 2 och Nivå 4• Temperatur: +15, +10, +5, 0, -5, -10, -15 °C• Värmekablar: inga, BHS1, BHS2 och BHS3 (Figur 7)• Varmbetong: +15, +20, +25 °C <p>Utdata:</p> <ul style="list-style-type: none">• Avformningstid [h]: Medelhållfasthet ≥ 5 MPa• Medelhållfastheten [MPa] efter 168h (7dygn)• Frysrisk 1: Kontakt vägg/bjälklag (min hållfast.)• Frysrisk 2: punkt 115, 115 mm från botten, centrum vägg• Överhettning: betongtemperatur > 60 °C	 <p>The diagram shows a vertical concrete wall of width $w=0,23\text{m}$ supported by a horizontal concrete slab. The wall is divided into three sections: Sida 1 (left), Sida 2 (right), and Sida 3 (top). The wall is cast using 'Konventionell form 1' and 'Konventionell form 2'. A point 'P3' is marked at the bottom center of the wall. The slab is labeled 'Annat material'.</p>
---	--

Betongen riskerar att frysa (Frysrisk 1 och 2) om hållfastheten < 5 MPa samtidigt som betongtemperaturen passerar under fryspunkten.

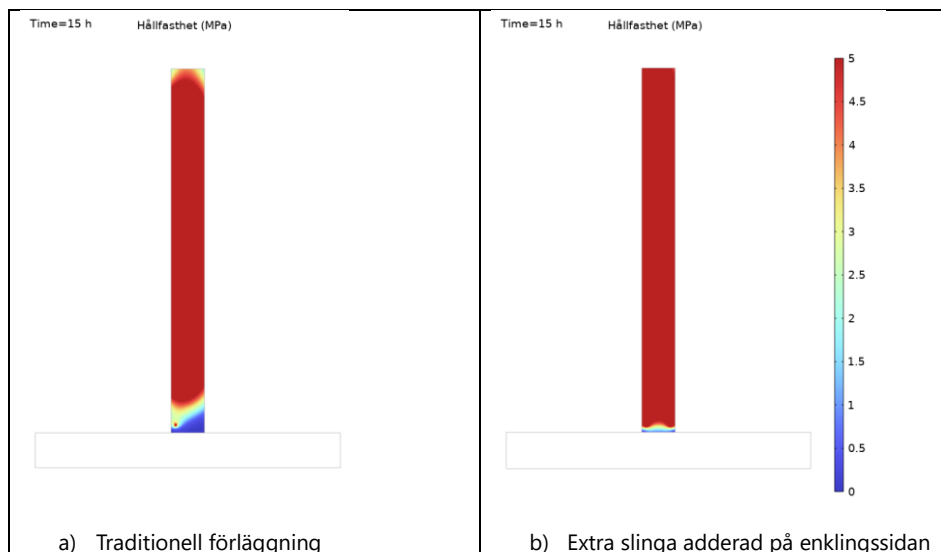
Åtgärd betonghärddningsslingor BHS

Normalt brukar betonghärddningsslingor fästas på nätarmeringen på dubblingsidan innan formen sätts på plats med c/c avståndet 300 mm, Figur 5.



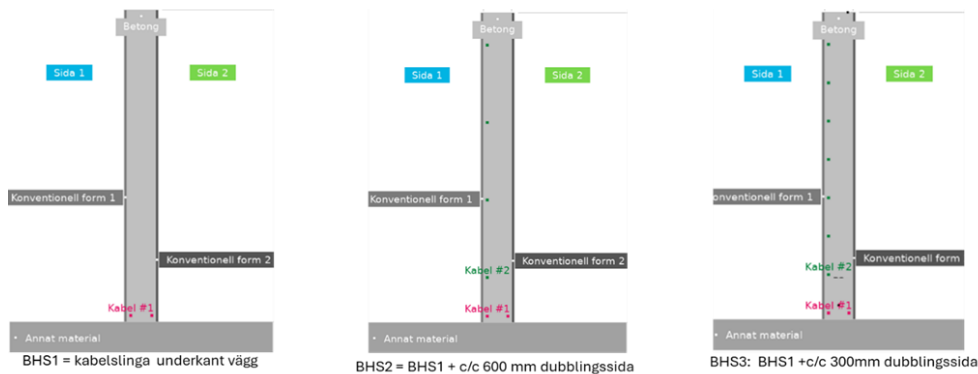
Figur 5 Exempel på förläggning av betonghärdningskablar med effekt 40W/mm (Ebeco3).

Detta exempel på förläggning analyserades i HETT22 och resultaten visade att frysriskerna var större i nederkanten på enklingssidan av väggen vilken saknade värmeslingor. För att motverka frysriskerna placerades en slinga även i botten på enklingssidan, dvs osymmetriskt i väggen, se Figur 6.



Figur 6 Hållfasthetutveckling efter 15 timmar, utetemperatur -10 °C. a) Traditionell förläggning på dubblingssidan b) En extra värmeslinga ilagd i botten på enklingssidan.

Tre förläggningalternativ har tagits fram BHS1 (kabelslinga i underkant vägg), BHS2 (BHS1 + c/c 600 mm dubblingssida) och BHS3 (BHS1 + c/c 300 mm dubblingssida) som alla ger en jämnare uppvärmning över tvärsnittet och är enkla att installera på väggarmeringen, se Figur 7.



Figur 7 Alternativa betonghårdningsslingor: BHS1, BHS2 och BHS3

Energiåtgången för de olika förläggningalternativen beräknas ur:

$$W_k = p_k \cdot t \cdot l_k$$

där p_k = kabeleffekt (W/m), t = tiden som kabelslingan används och l_k = ingjuten kabellängd.

Klimatutsläpp från åtgärden består av två delar, energianvändning och tillverkning av värmekabel:

$$GWP_{BHS} = W_k \cdot GWP_{el} + l_k \cdot GWP_k$$

där GWP_{el} är kgCO₂eq/kWh för använd elenergi och GWP_k kgCO₂eq/m för ingjuten värmekabel.

Kostnader för åtgärden består av tre delar; arbete, kabel och energi:

$$C_{BHS} = C_a \cdot l_k + C_k \cdot l_k + C_{el} \cdot W_{el}$$

där C_a =arbetskostnad SEK/m kabel, C_k = kabelkostnad/m och C_{el} =energikostnad SEK/kWh

Bilaga G visar exempel på hur man kan beräkna klimatutsläpp och kostnader för betonghårdningsslingor BHS1, BHS2 och BHS3 för vägg och för kantförläggning på valv.

Resultat

Resultatet från serieberäkningarna samlas lämpligen i en databas som tillsammans med kostnader och klimatutsläpp kan användas för val av lämpliga åtgärder för aktuell vädersituation och krav från produktionen på maximala avformningstider.

Krav på avformningstid (15 h), risk för frysning och överhettning har färgkodats enligt följande:

Avformning när $\geq 5\text{MPa}$	$\leq 15\text{h}$	17.5h	$\geq 20\text{h}$
Varningar	Frysrisk 1	Frysrisk 1 och 2	$>60^\circ\text{C}$

Resultaten exemplifieras i tabellform för ett alternativ (referensbetong C30/37), se Figur 8. Den vänstra delen visar möjliga tider för avformning vid tre gjuttemperaturer och den högra delen noterar hållfasthet efter 7 dygn.

Några resultat för gjutning vid -10°C utetemperatur har kommenterats i Figur 8.

1. Oisolerade väggformar, Inga värmekablar, 15°C betongtemperatur vid gjutning;
 - a. Avformning efter gjutning: 20.5 h (överskrider produktionskravet på 15h)
 - b. Medelhållfasthet efter 7 dygn är 14.1 MPa, Frysrisk 1 och 2
2. Isolerade väggformar, inga värmekablar, 20°C betongtemperatur vid gjutning
 - a. Avformning efter gjutning: 13.1 h (OK)
 - b. Medelhållfasthet efter 7 dygn är 18.3 MPa, Frysrisk 1
3. Isolerade väggformar, BHS1 förläggning, 15°C betongtemperatur vid gjutning
 - a. Avformning efter gjutning: 15.7 h (OK, litet översteg)
 - b. Medelhållfasthet efter 7 dygn är 18.1 MPa, Frysrisk 1

Vi ser att alternativ 1 inte uppfyller produktionskravet och att risken för frysning i väggens nedre del är stor (Frysrisk 1 och 2). Alternativ 2 och 3 är produktionsmässigt möjliga alternativ. Dock bör man fråga sig hur allvarlig frysrisken i kontakten mellan vägg och bjälklag är (Frysrisk 1).

Vi ser att största delen av väggen har en hållfasthet över 5 MPa för alla alternativ. Däremot har väggen i alternativ 1 en frysskada i underkanten av vägg.

När det gäller alternativ 2 eller 3, så ger alternativ 3 (BHS1 förläggning) en mindre utbredning av fryszone närmast bjälklaget jämfört med alternativ 2, varmbetong med 20°C gjuttemperatur, Figur 9. Troligen är alternativ 3 också billigare och ger mindre utsläpp av växthusgaser jämförelse med alternativ 2.

Exemplet visar också att man kan behöva detaljstudera alternativen med egna HETT22 beräkningar i fall där det varnas för Frysrisk 1. Orsaken är att FEM nätet är förfinat i övergången till bjälklaget som kommer att fungera som en köldbrygga till omgivningen. Temperaturen i väggen kommer asymptotiskt ha samma temperatur som bjälklaget. Även om den påverkade området är väldigt liten, som i alternativ 3.

Samtliga serieberäkningar för väggar finns tabellerade i Bilaga G.

C30/37 Inga värmekablar

Utetemp [°C]	Formtyp 19mm ply	Avformning vid olika gjuttemperatur			Hållfasthet efter 7dygn		
		15° btg [h]	20° btg [h]	25° btg (h)	15° btg [MPa]	20° btg [MPa]	25° btg [MPa]
15	Oisolerad	13.5	11.5	10.1	32.2	32.3	32.4
15	Isolerad	13.4	11.2	9.9	32.2	32.3	32.4
10	Oisolerad	14.7	11.9	10.3	30.8	31.0	31.2
10	Isolerad	14.0	11.5	9.9	30.9	31.1	31.3
5	Oisolerad	15.6	12.6	10.6	28.9	29.2	29.4
5	Isolerad	14.5	11.8	10.2	29.1	29.4	29.6
0	Oisolerad	16.8	13.1	11.0	25.7	26.0	26.7
0	Isolerad	15.1	11.1	10.2	26.2	26.5	27.2
-5	Oisolerad	18.1	13.8	11.4	20.3	21.5	22.1
-5	Isolerad	15.4	12.4	10.6	21.6	22.5	23.1
-10	Oisolerad	20.5	15.2	12.3	14.1	16.3	17.8
-10	Isolerad	16.6	13.1	10.6	16.8	18.3	19.7
-15	Oisolerad	24.4	16.5	12.9	9.9	13.2	15.2
-15	Isolerad	17.3	13.5	11.1	14.2	16.1	17.4

Alternativ1

Alternativ2

>> 15h

OK

Stor frysrisik

Liten frysrisik

C30/37 BHS1 förläggning

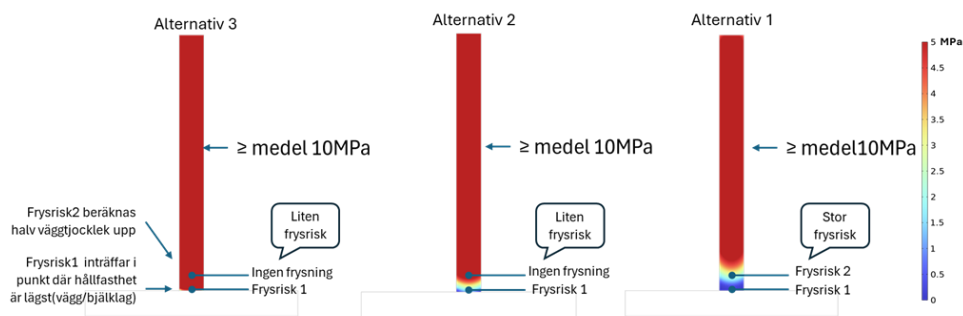
Utetemp [°C]	Formtyp 19mm ply	Avformning vid olika gjuttemperatur			Hållfasthet efter 7dygn		
		15° btg [h]	20° btg [h]	25° btg (h)	15° btg [MPa]	20° btg [MPa]	25° btg [MPa]
15	Oisolerad	13.6	11.2	9.9	32.2	32.3	32.4
15	Isolerad	13.5	11.0	9.7	32.2	32.4	32.4
10	Oisolerad	14.0	11.6	10.1	30.9	31.1	31.2
10	Isolerad	13.4	11.2	9.7	31.0	31.2	31.3
5	Oisolerad	14.8	12.1	10.5	29.0	29.3	29.5
5	Isolerad	13.8	11.5	10.0	29.2	29.5	29.7
0	Oisolerad	16.1	12.7	10.8	25.9	26.4	26.8
0	Isolerad	14.6	11.8	10.0	26.4	26.8	27.2
-5	Oisolerad	17.2	13.1	11.2	21.0	21.5	22.7
-5	Isolerad	15.1	11.8	10.4	22.0	22.5	23.5
-10	Oisolerad	19.6	14.5	11.7	15.4	17.5	18.9
-10	Isolerad	15.7	12.4	10.4	18.1	19.3	20.4
-15	Oisolerad	22.9	15.9	12.3	11.5	14.4	16.6
-15	Isolerad	16.8	13.2	10.7	15.5	17.1	18.5

Alternativ3

~15h

Liten frysrisik

Figur 8 Resultat för betong C30/37 referens utan värmeslingor respektive slingor enligt BHS1 förläggning



Figur 9 Exempel på val av åtgärder och dess inverkan på härdningsprocessen.

Simuleringar av hållfasthetstillväxt vid olika temperaturintervall, betongrecept och möjliga vinteråtgärder samt deras kostnader och klimatutsläpp ger insikt i hur man kan planera produktionen. Dessa resultat samlas i en prognosdatabank där utgångspunkten blir att för ett specifikt temperaturintervall och tidskrav på hållfasthetstillväxt optimera valet av betongrecept (tillsatsnivå), produktionskostnader och klimatutsläpp. Databanken utgör således en viktig utgångspunkt för *Prototyp Planeringsstöd* vilken beskrivs i nästa kapitel.

5 Prototyp Planeringsstöd

5.1 Prototypens tre bärande komponenter

Som utgångspunkt består Prototyp Planeringsstöd av tre bärande komponenter: **Indata**, **Utdata** samt **Återkoppling/produktionsstyrning**. I detta kapitel så skall vi utifrån resultaten från tidigare kapitel visa hur dessa komponenter integreras i prototypen.

Indata, dvs förutsättningar (a):

- Väderleksbetingelser under olika skeden (den långsiktig påverkan) för byggobjektets lokalisering.
- Materialegenskaper: tidig härdning, uttorkning. Inmätta betongegenskaper alternativt standard-data, speciella för klimatförbättrad betong.
- Byggobjekt; geometri, motgjutning, traditionell utformning, plattbärlag, etc.
- Utförande: form, gjutning, härdning, åtgärder. Krav: generella och tillkommande.
- Stomdrift: gjutordning, gjuttakt, form. Krav: frysning, avformning, stämp, RH-ytskikt.
- Uppmätta parametrar under pågående byggande: temperatur, hållfasthet, relativ fuktighet, annat.
- Tidigare uppmätta parametrar: prognoser – "erfarenhetsbibliotek".
- Andra indata: tidigare prognoser, externa studier, internt kunnande/erfarenhet.

Utdata, dvs resultat (b):

- Tid, kostnad, kg CO₂ och tillhörande tekniska beräkningsresultat: utveckling av temperatur, hållfasthet, RH samt acceptans alternativt varningsmeddelanden.
- Förslag till optimering samt åtgärdsval och betongval.

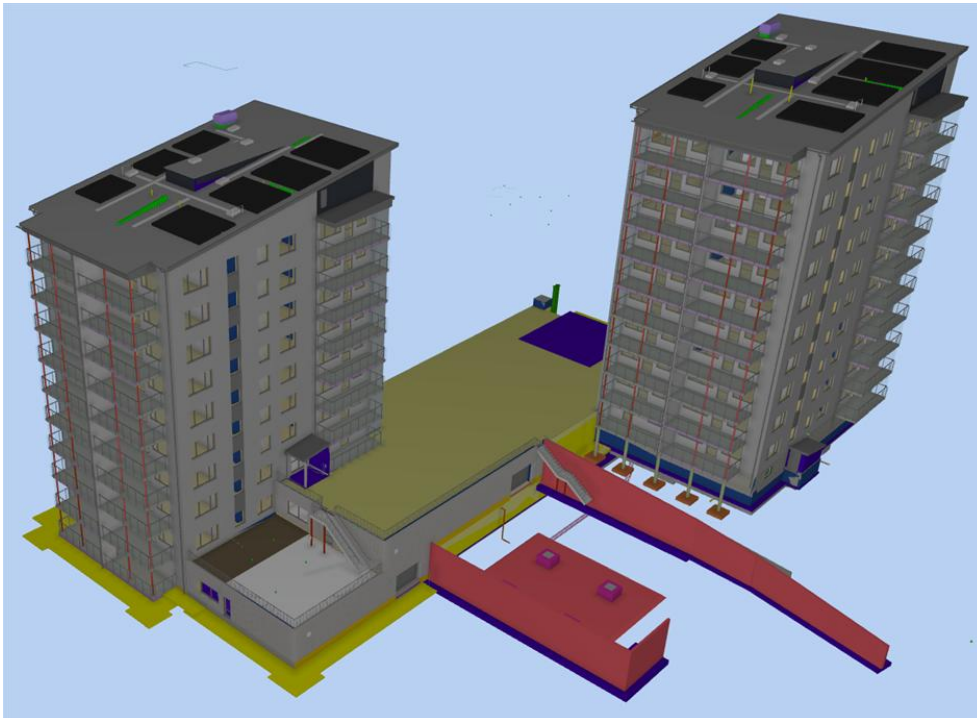
Återkoppling, produktionsstyrning (c):

- Uppmätta resultat används i jämförelse med prognos, ev justering, alternativ/styrning.

För att illustrera prototypen har följande tre fall studerats:

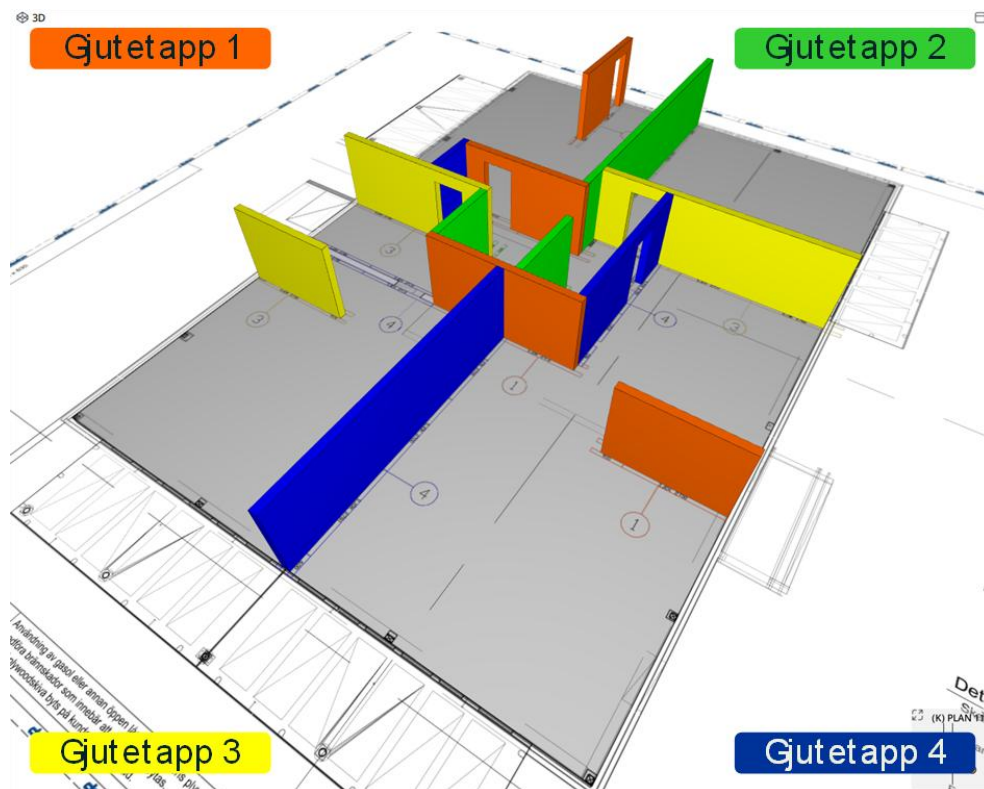
1. Hållfasthet Väggar, relaterad till säker formrivning och undvikande risk för tidig frysning
2. Hållfasthet Bjälklag, säker formrivning och stämphantering samt
3. Uttorkning Bjälklag, möjlighet till fuktsäkert byggande

Dessa kan användas vid tidig planering av produktionen, vid arbetsberedning direkt inför ingående produktionsaktiviteter, samt under utförandet och härdningen för återkoppling av hållfasthetstillväxt och uttorkning. Studien har använt data från ett nyligen avslutat byggprojekt i Skellefteå bestående av två punkthus med ett garage i bottenplan som binder dem samman, se Figur 10. Prototypen har dock inte tillämpats direkt i det aktuella byggprojektet.



Figur 10 Byggprojektet vars data nyttjas för detta utvecklingsprojekt.

För att förenkla och visa på konceptet valdes ett våningsplan ut för visualisering i beslutsstödet. De platsgjutna väggarna delades upp i fyra gjutetapper enligt Figur 11.



Figur 11 Projektets gjutetapper för ett av våningsplanen, dvs fyra väggetapper och en bjälklagsetapp.

5.2 Datakällor och dess relationer

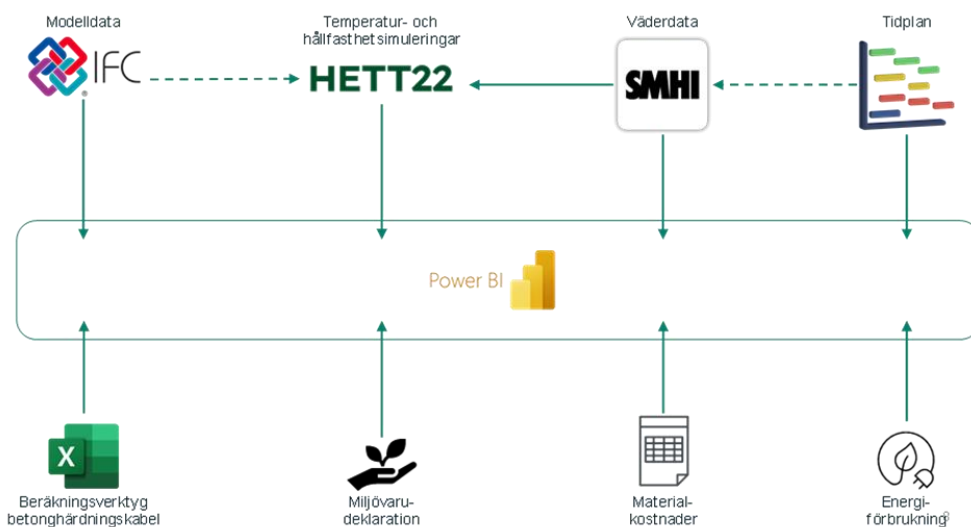
Figur 12 visar de datakällor vars data har importerats till visualiseringsprogrammet Power BI⁵. Den övre delen visar de källor som används för beräkning av betongens fysiska egenskaper. I den nedre delen visas de datakällor som innehåller information om materialegenskaper med mera, vilket resulterar i kostnader och klimatpåverkan.

Byggkonstruktörens BIM-modell i IFC-format innehåller förutom mängder (väggjocklek, vägghöjd, löpmeter, volym, m.m.) även information om krav på hållfasthetsklass. Modellen har även produktionsanpassats genom att gruppera väggobjekten i av utföraren vald indelning av gjutetapper vilket innebär att mängder kan beräknas per gjutetapp. Detta är exempelvis nödvändigt för beräkningarna av nödvändig erforderlig längd av betonghärdningskabel som görs i de beräkningsverktyg och modeller som skapats inom projektet, se tidigare kapitel för en mer detaljerad beskrivning.

Modellens information (hållfasthetsklass, väggjocklek, vägghöjd, och löpmeter) nyttjas även för de temperatur- och hållfasthetsberäkningar som utförs i HETT22. Beräkningsprogrammet tar även hänsyn till historiska väderdata från SMHI som i sin tur är relaterad till produktionstidplanen, det vill säga vilket

⁵ <https://www.microsoft.com/en-us/power-platform/products/power-bi>

datum respektive betonggjutning är planerad att utföras. Serieberäkningar ger en stor mängd möjliga kombinationer av variabler. Dessa resultat behandlas i Excel och läses sedan in i Power BI. Det är även möjligt att, istället för nya serieberäkningar för varje objekt, använda sig av uppföljningsdata från tidigare objekt och resultat från tidigare beräkningar i andra sammanhang som indata. Detta kan ge tillräckligt underlag i tidigt skede som senare uppdateras med ny information, nya mer specifika beräkningar.



Figur 12 Datakällor för beslutsstödet Hållfasthet Väggar.

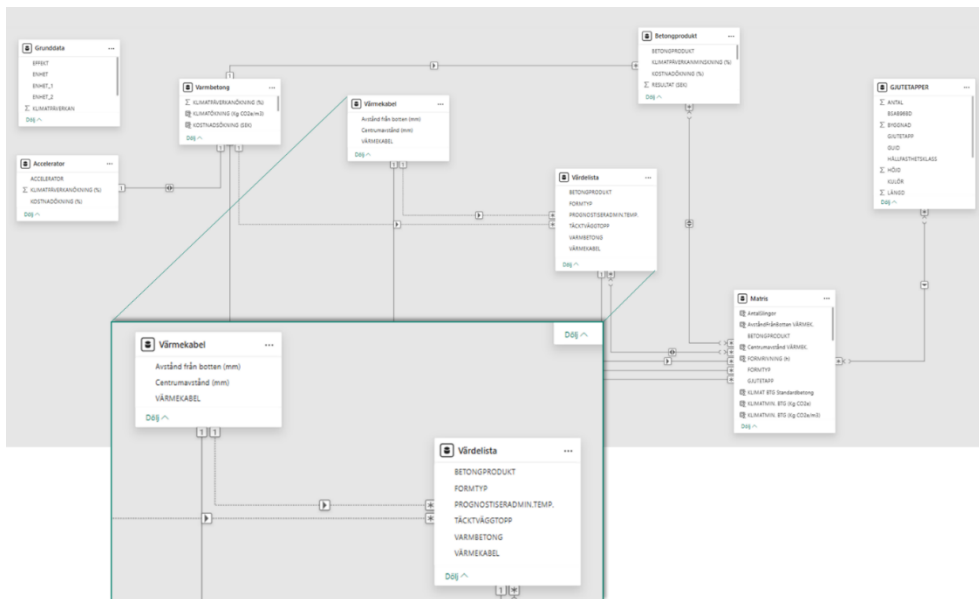
Beräkningsverktyget för betonghärdningskabel innehåller formler för tre olika iläggningssätt, se Figur 7. Den använder modelldata för beräkningarna.

I miljövarudeklarationer redogörs för koldioxidekvivalenter för exempelvis valda betonghärdningskablar, betongprodukter och energislag.

Materialkostnader redovisar kostnader för valda produkter och energislag.

Energiförbrukning ger energiåtgången för varje möjlig variabel.

I PowerBI kopplas informationen i ovan datakällor samman i ett så kallat relationsdiagram, som är exemplifierat i Figur 13, vilket är en förutsättning för att skapa den interaktiva beslutstavlan.



Figur 13 Exempel på det relationsdiagram som sammankopplar de olika datakällorna i PowerBI

5.3 Beslutstavlor

Avsnittet redovisar två olika alternativa beslutstavlor för Hållfasthet Väggar baserat på den information och variabler som beskrivits tidigare i rapporten.

5.3.1 Beslutstavla 1

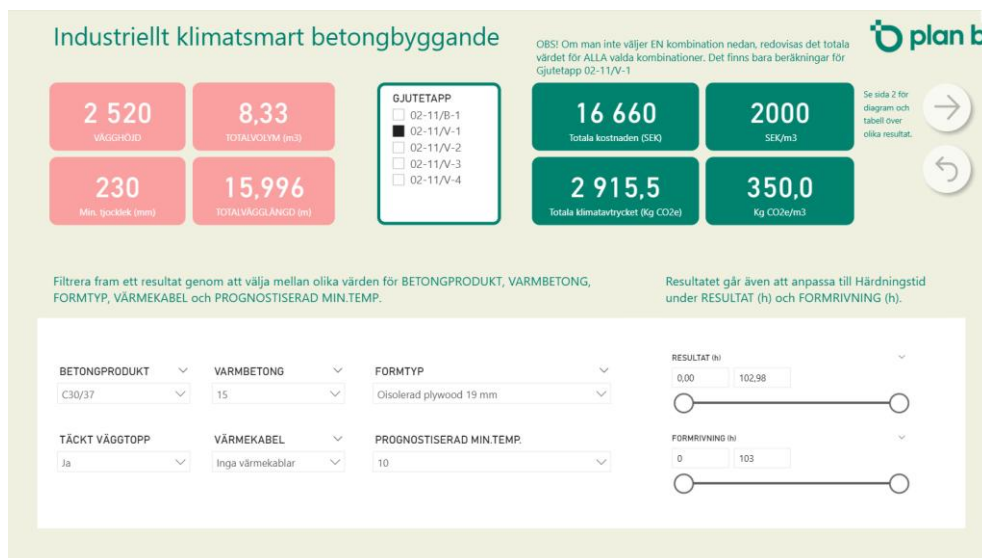
Figur 14 visar den första vyn som skapats i projektet. I den övre delen väljs vilken gjutetapp (av de i Figur 11) som ska planeras. I detta exempel finns enbart de fyra gjutetapperna för väggar, men i ett reellt projekt kan projektets alla gjutetapper ingå i planeringen.

Genom att välja en av gjutetapperna visas aktuell vägghöjd och vägg tjocklek med automatik.

Den övre delen redovisar även följande för vald gjutetapp:

- Volym betong (Summa TOTVOLYM (m³))
- Löpmeter (TOTALVÄGGLÄNGD (m))

Kostnader och klimatavtryck noteras och beräknas för etappen och per m³ betong. Detta kan först göras korrekt när alla val på den nedre delen av beslutstavlan är gjorda.



Figur 14 Exempel 1 på en beslutstavla för Hållfasthet Väggar. Observera att framräknande och redovisade värden är fiktiva.

Den nedre delen av tavlan består av de variabler som kan ändras samt det beräknade resultatet för varje möjlig kombination.

Följande variabler och valbara värden har använts i detta projekt enligt tidigare, dvs de som varierats i serieberäkningarna:

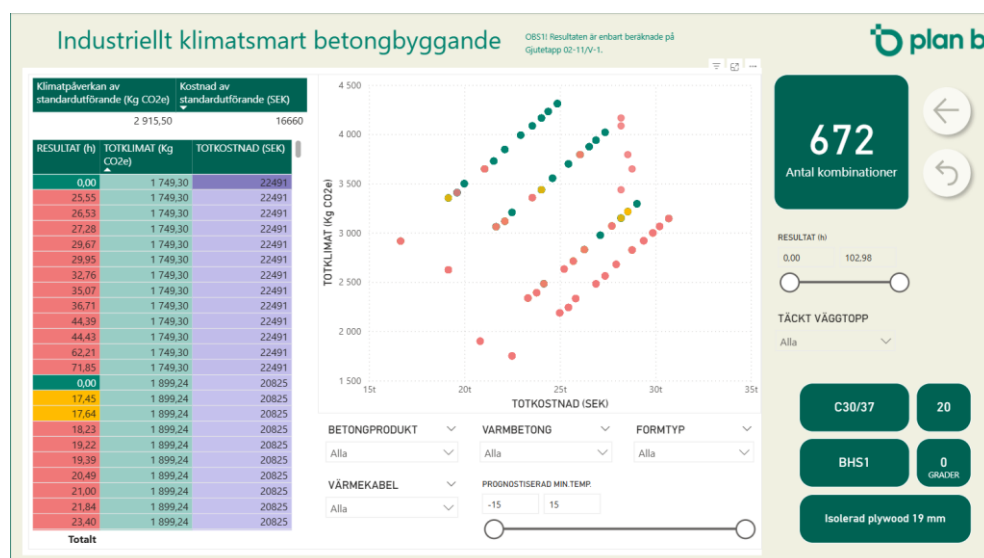
- Betongprodukt (C30/37, C30/37 BIO-10, C30/37 BIO-20, C30/37 BIO-40)
- Varmbetong (15, 20, 25 °C)
- Formtyp (Isolerad, Oisolerad)
- Täckt väggtopp (JA/NEJ)
- Värmekabel (Ingen, BHS1, BHS2, BHS3)
- Prognostiserad min.temp. (15, 10, 5, 0, -5, -10, -15 °C), dvs medel under första dygnet.
- Formrivning – Antal timmar innan form kan rivas, så att hållfastheten 5 MPa nås (Resultatet av de olika kombinationerna ovan.)

Tavlan går att använda på två sätt:

1. Kombinationen av variabler ändras för att se hur resultatet ändras till det att ett önskvärt resultat uppnåtts.
2. Resultatet definieras för att därefter se vilka möjliga kombinationer som återstår.

5.3.2 Beslutstavla 2

Figur 15 demonstrerar den andra vyn som skapats i projektet. Denna vy visar resultatet av alla möjliga kombinationer av de valda variablerna, i detta fall 672 kombinationer. Resultatet visas i ett punktdiagram där klimatpåverkan redovisas på y-axeln i relation till kostnaden på x-axeln. Här skapas således ett underlag för valet av åtgärder baserat på kostnad- och klimatavtrycksrelationen.



Figur 15 Exempel 2 på en beslutstavla för Hållfasthet Väggar. Värderna är fiktiva och enbart en del av beräkningsresultat visas. Färgerna visar på hur tiden för varje alternativ förhåller sig till målvärdet för formrivning. Röd cellfärg används då mer än 2 timmar förväntas över målvärdet, gul cellfärg för 0 till 2 timmar och grön cellfärg används för att indikera att tiden ligger under målvärdet.

5.4 Exempel på tillämpning

För att ytterligare illustrera prototypen och tavlans användningspotential så ges följande exempel på hur tavlan kan nyttjas vid planering av stombyggnade av väggar.

- Vid tidig planering av projektet förutspås att den lägsta temperaturen under aktuell gjutetapp kommer att uppgå till 0 °C. Detta baseras på tidplanen och historiska väderdata från SMHI.
- Konstruktören har beräknat att det krävs en betonghållfasthet på C30/37.
- Den planerade gjutcykeln innebär att väggarna gjuts en tisdag eftermiddag och formrivning ska ske morgonen därpå, d.v.s. tiden från gjutning till formrivning är ca 16 timmar.

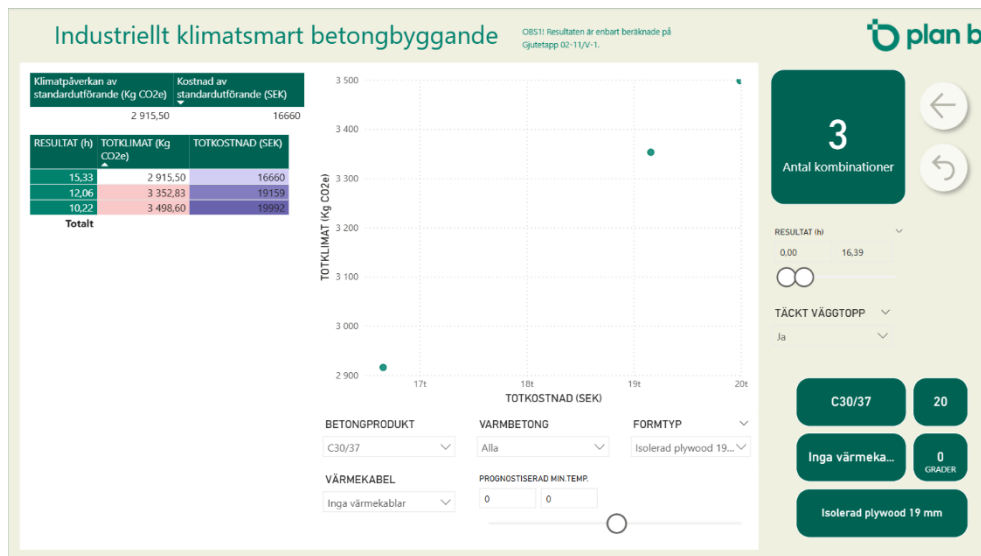
- Eftersom stor del av gjutarbetena och efterföljande härdning kommer att ske vid minusgrader används en formpark med isolerad plywood på 19 mm.
- Projektet har även bestämt att alltid använda täckt väggtopp.

Följande tabell sammanfattar dessa förutsättningar:

VARIABEL	VÄRDE
PROGOSTISERAD MIN. TEMP	0 °C
BETONGPRODUKT	C30/37
FORMRIVNING (h)	16
FORMTYP	Isolerad plywood 19 mm
TÄCKT VÄGGTOPP	JA

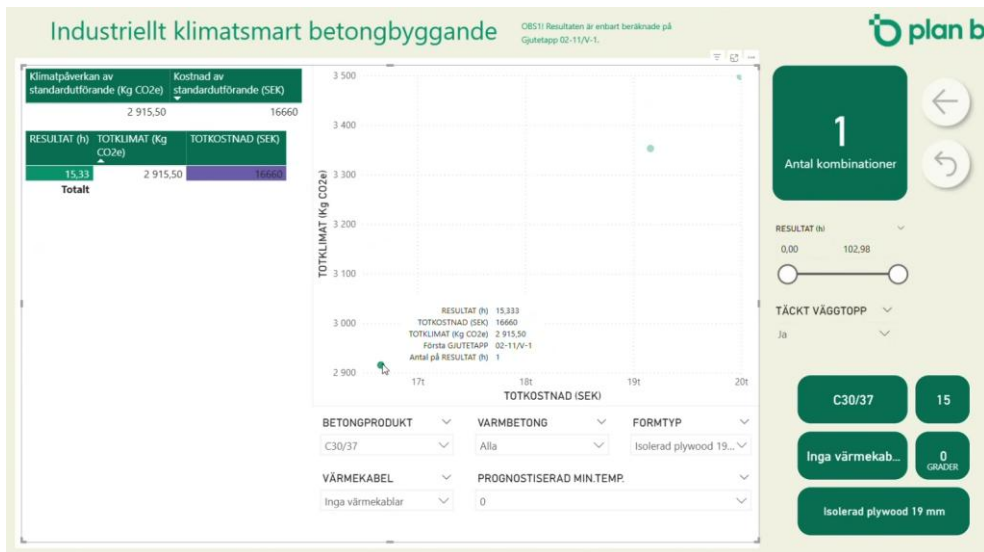
5.4.1 Alternativ med standardbetong

Ponera att projektet väljer att använda standardbetong (referensbetong), det vill säga ingen klimatförbättrad betong, och att inte använda någon värmekabel. Resultatet ger då att det finns tre möjliga alternativ att välja mellan. (Observera att resultaten är exempelvärden och inte är reella.) Dessa möjliga resultat visas både i tabellen samt som gröna prickar i diagrammet i Figur 16.



Figur 16
ovan.

Beslutstavlans tre alternativ vid val och förutsättningar enligt text och tabell

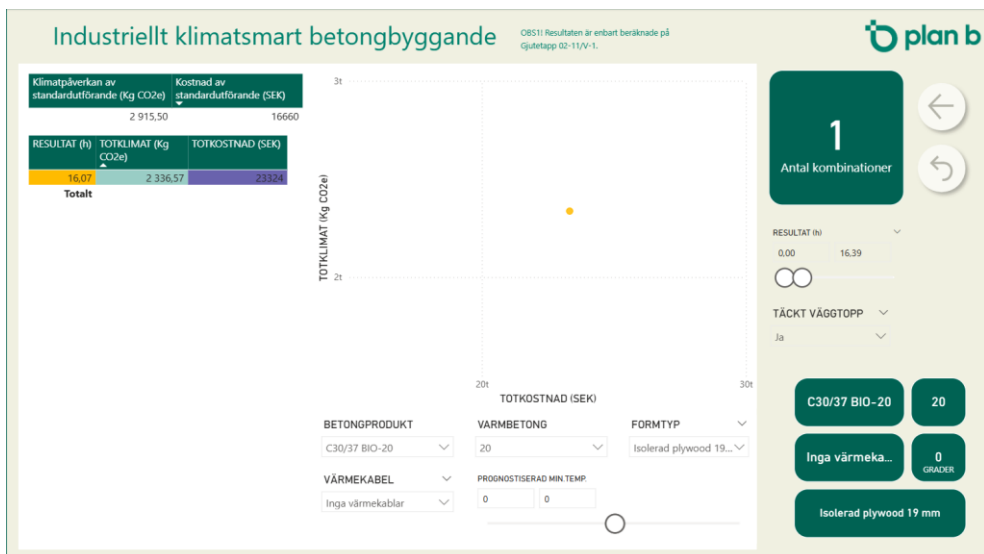


Figur 17 Samma beslutstavla som i Figur 15 men med det bästa alternativet selekterat. De olika beräkningsvariablerna syns på högersidan i bilden och även som s.k. tooltip vid den selekterade punkten i diagrammet.

Figur 17 visar att det bästa alternativet är att använda den betongen med lägst temperatur (15 °C). Det är det bästa alternativet både gällande klimatpåverkan (2915 kg CO₂e) och kostnad (16 660 SEK). Alternativet klarar även kravet på formrivning inom 16 timmar.

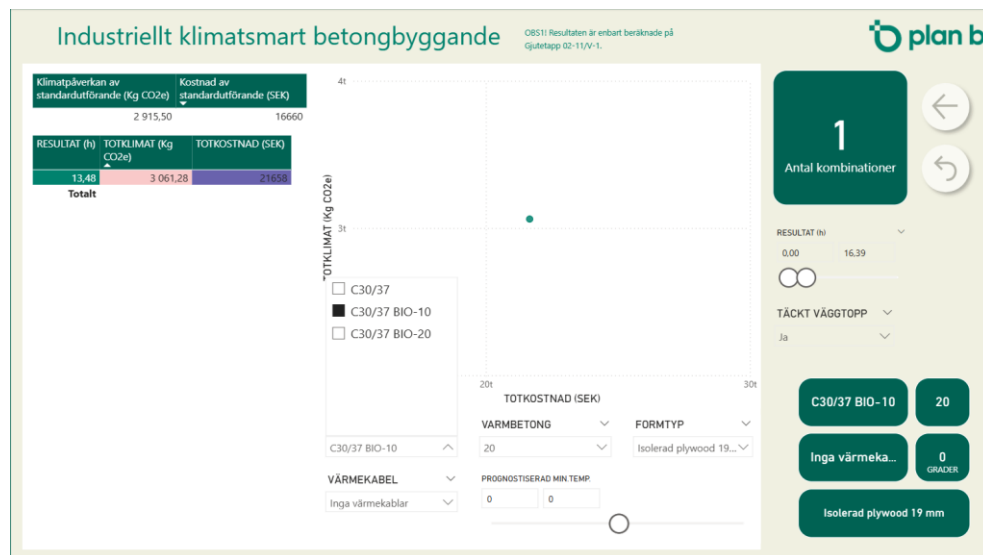
5.4.2 Alternativ med klimatförbättrad betong

Om vi istället vill studera alternativ med klimatförbättrade betonger får vi andra resultat. I Figur 18 visas resultat för ett alternativ med en klimatförbättrad betongprodukt BIO-20 och i Figur 19 BIO-10.



Figur 18 Beslutstavlans resultat för alternativet med klimatförbättrad betong BIO-20.

Klimatpåverkan baserat på klimatförbättrad betong BIO-20 (Figur 18) beräknas till 2337 kg CO₂e och kostnaden 23 324 SEK. Jämfört med alternativet med standardbetong som redovisas i Figur 17, sjunker klimatpåverkan med cirka 20%, men kostnaden beräknas ökar med cirka 40%.



Figur 19 Beslutstavlans resultat för alternativet med klimatförbättrad betong BIO-10.

Figur 19 visar att om man använder sig av den klimatförbättrade betongen BIO-10 så ger det ett sämre resultat avseende klimatpåverkan (3062 kg CO₂e) jämfört med standardbetong, eftersom gjutningen behöver en högre temperatur på varmbetong för att möta produktionskraven vilket därmed genererar ett större klimatavtryck. Även kostnaden blir högre vilket innebär att det valet är sämre både gällande klimatpåverkan och kostnad.

5.4.3 Val av betong

Efter att ha studerat alternativen i detta tidiga skede faller valet på en klimatförbättrad betong BIO-20 och varmbetong 20°C. Några dagar innan betonggjutningen ska utföras kan en mer tillförlitlig väderprognos erhållas. I detta exempel visar det sig att den lägsta temperaturen under aktuell gjutetapp förutspås bli -15 °C. Genom att studera olika alternativ visualiserade i beslutstavlan ges projektet möjlighet att välja det mest fördelaktiga alternativet gällande på klimatpåverkan och kostnad. För detta exempel visar sig det bästa alternativet att behålla BIO-20 men att öka värmen på betongen till 25 °C. Resultaten (som visualiserades i beslutstavlan) visade att detta var ett bättre alternativ än att istället exempelvis använda sig av någon av metoderna för värmekabel.

Vi kan således konstatera att denna prototyp ger oss möjlighet att simulera olika alternativ i tidigt skede men att vi kan finjustera alternativet ju närmare gjutillfället vi kommer då mer tillförlitliga värden är tillgängliga. Genom att visualisera resultaten på olika sätt ges insikter som annars skulle vara svårtillgängliga genom att enbart studera tabeller. På detta sätt kan vi också bättre ta beslut baserade på aktuella fakta snarare än enbart på tidigare erfarenhet vilket inte minst är positivt för arbetsledning som inte har mångårig gjuterfarenhet. Bättre kontroll leder till mindre stress och mer proaktiva val.

6 Sammanfattande slutsatser och rekommendationer

6.1 Projektets huvudsakliga resultat

Detta projekt har haft som övergripande mål att utveckla ett förbättrat planeringsstöd för stombyggande med platsgjuten betong, med särskilt fokus på hantering av väderrelaterade förutsättningar i utförandeskedet. Utgångspunkten har varit behovet av att överbrygga gapet mellan avancerade beräkningsresultat och praktiskt användbar information för planering och produktion.

Projektets huvudsakliga resultat kan sammanfattas i tre sammanhängande leveranser:

- en tydliggörande beskrivning av stombyggnadsprocessens informations- och beslutspunkter,
- ett ramverk för en prognosdatabank baserad på serieberäkningar av temperatur, tidig hållfasthetsutveckling och uttorkning,
- ett digitalt planeringsstöd i form av en prototyp där resultaten visualiseras och görs jämförbara.

Tillsammans utgör dessa leveranser ett strukturerat underlag för att analysera hur olika utförandestrategier påverkar produktionstakt, robusthet och planeringsförutsättningar vid stombyggnad.

6.2 Praktiskt bidrag till stombyggnadsprocessen

Projektets praktiska bidrag ligger inte i att introducera nya material eller utförandemetoder, utan i att stärka beslutsunderlaget för planering av stombyggnadsprocessen. Genom att strukturera och visualisera prognosbaserad information möjliggörs mer välgrundade jämförelser mellan olika scenarier redan i tidiga planeringsskeden. Normalt innebär att ju fler variabler som inkluderas, desto mer komplicerat blir det att se hur dessa variabler samverkar eller motverkar varandra. Därför har speciell tyngdvikt legat på visualiseringen av resultaten där man får en snabb överblick över olika alternativs konsekvenser. Förutom rent produktionsmässiga resultat ges även möjligheten att se klimatomässiga och kostnadskonsekvenser av olika val.

Detta bidrag är särskilt relevant i projekt där klimatförbättrade betonglösningar används, eftersom etablerade tumregler och erfarenhetsbaserade arbetssätt inte alltid är tillräckliga. Projektets resultat ger därmed förutsättningar för att minska osäkerhet i planeringen och för att identifiera realistiska produktionsupplägg utan att tillgripa överkonservativa lösningar.

I praktiken kan projektets resultat användas som stöd för:

- val av utförandestrategi och produktionstakt,
- bedömning av formrivningstider under varierande väderförhållanden,
- planering av stomkomplettering och efterföljande byggmoment.

6.3 Slutsatser

Baserat på projektets genomförande och resultat kan följande slutsatser dras:

- Stombyggnadsprocessen präglas av flera kritiska beslutspunkter där väderförhållanden har stor påverkan, samtidigt som tillgängliga beslutsunderlag ofta är fragmenterade.
- Tidig hållfasthetsutveckling, formrivning och uttorkning är centrala processer som i hög grad styr produktionstakt och robusthet i utförandet.
- Serieberäkningar och prognosbaserade analyser ger ett värdefullt underlag för att belysa variationer och osäkerheter, men kräver struktur och visualisering för att bli praktiskt användbara.
- Ett sammanhållet planeringsstöd som integrerar prognosdata kan bidra till mer robusta och förutsägbara planeringsbeslut i stombyggnadsprojekt.

6.4 Rekommendationer för fortsatt utveckling och forskning

Projektet har visat på flera områden där fortsatt utveckling och forskning är motiverad:

- Vidareutveckling av prognosdatabanken, med fler typfall, klimatförutsättningar och betonglösningar, för att öka generaliserbarheten.
- Förvaltning och vidareutveckling av planeringsstödet, inklusive förbättrat användargränssnitt och tydligare koppling till praktiska arbetsflöden i byggprojekt.
- Integration av uppföljningsdata från produktion, exempelvis mätningar av temperatur och fukt, för att möjliggöra successiv kalibrering och lärande över tid. Detta projekt gjorde ansatser till att koppla mätresultat från sensorer i fullskaleprojekt till genomförda beräkningar men här krävs mer arbete för att säkerställa tillförlitligheten i resultaten.

7 Referenser

Emborg, M., Nilimaa, J., Olofsson, T., Ohlsson, U., Ghasemi, Y., Larsson, R., Järleberg, M., Henriksson, J. (2020): Digitaliserat stombyggande med platsgjuten betong, Smart Built Environment, <https://www.smartbuilt.se/library/5771/slutrappport-200529ver2.pdf>

Emborg, M., Carlswärd, J., Olofsson, T., Olsson, N., Lundström, M., Claesson-Jonsson, C., Norberg, H., Jongeling, R. (2026): Stombyggande med platsgjuten betong – industriellt, klimatoptimerat: Ett kunskapsdokument.

Ytterligare referenser ges i Bilagorna.

BILAGOR A – H (redovisas i separat dokument)

Bilaga A Planering av stombyggnadsprocessen – fyra studier av praktiska möjligheter

Bilaga B Utförande vintergjutning – inverkan klimatförbättring

Bilaga C Prognoser vintergjutning – formrivning vägg

Bilaga D. 3D prognoser temperatur hållfasthet – vägg, bjälklag

Bilaga E Stämp – översikt

Bilaga F Uttorkning – detaljering fenomen, konsekvenser vid härdning, exempel

Bilaga G Resultat serieberäkningar: temperatur/hållfasthet, uttorkning

Bilaga H Miljöaspekter