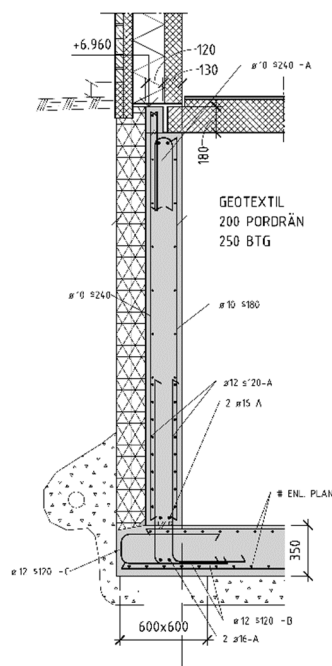


# Entreprenörer sparar pengar med PPB!

*Planering och hantering av risker är entreprenörens vardag. Ett projekt som flyter på utan överraskningar är entreprenörens önskan. Kontroll över gjutcykler med en väl planerad glättning och formrivning kan korta ner byggtiden och minimera formkostnader i ett stort projekt. Produktionsplanering Betong (PPB) är ett kraftfullt verktyg för planering av betonggjutningar. Med hjälp av verktyget kan bland annat tider för glättning och formrivning beräknas, vilket kan ge entreprenören just den riskhantering som väl planerade och optimerade gjutningar möjliggör. Det sparar pengar!*

För att visa hur PPB kan användas praktiskt för planering av gjutningar och därtill hörande problemlösning, presenteras i denna artikel en studie av tidpunkter för glättning och formrivning inkluderande inverkan av olika åtgärder och olika val av betong. Ett vanligt förekommande källarutrymme, utan speciella krav på täthets- eller sprickbegränsande åtgärder, väljs som exempel för studien. Källarkonstruktionen gjuts med fabriksbetong på plats och består av en 35 cm tjock bottenplatta på packad fyllning samt en 25 cm tjock yttervägg, se figur 1. För båda konstruktionsdelarna gäller dimensionerande exponeringsklass XC2, vilket medför ett högsta tillåtna vattencementtal (vct) på 0,60 samt hållfasthetsklass C 28/35.

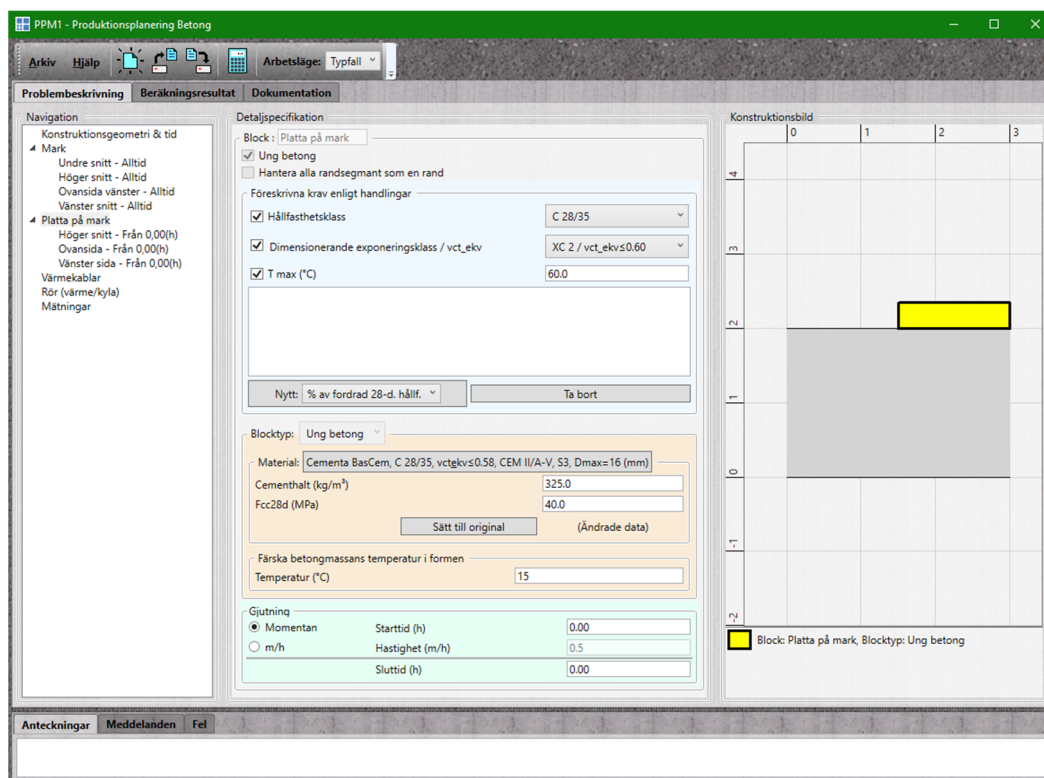


Figur 1. Sektionsritning: källare – en platsgjuten bottenplatta på mark med yttervägg.

Projektets produktionstidplan kräver att bottenplattan gjuts under hösten och källarväggarna i tätt följd under årets kallare månader (vintern). För planeringen kan problemet delas upp i två beräkningsfall som PPB får räkna på. Först studeras höstgjutningen av bottenplattan och därefter vintergjutningen av väggen på en redan gjuten platta på mark.

### **Glättning under hösten**

För att simulera höstgjutningen används typfallet **Platta på mark, kantsektion utan isolering** i PPB. Detta är en approximation av geometrin eftersom plattans överkant är rak i PPB, vilket den inte är på konstruktionsbilden. Denna påverkan på simuleringens resultat är liten och försumbar, vilket kan bortses ifrån i detta fall med relativt små dimensioner. Höstförhållanden antas normalt ge en yttemperatur för marken på 5 °C och som marktyp väljs **Morän/grus**. Lufttemperaturen sätts till 5 °C, vilket motsvarar en normal dygnsmedeltemperatur under oktober-november och vindstyrkan till **Bläst (6m/s)**. Ovansidan av marken lämnas fri.

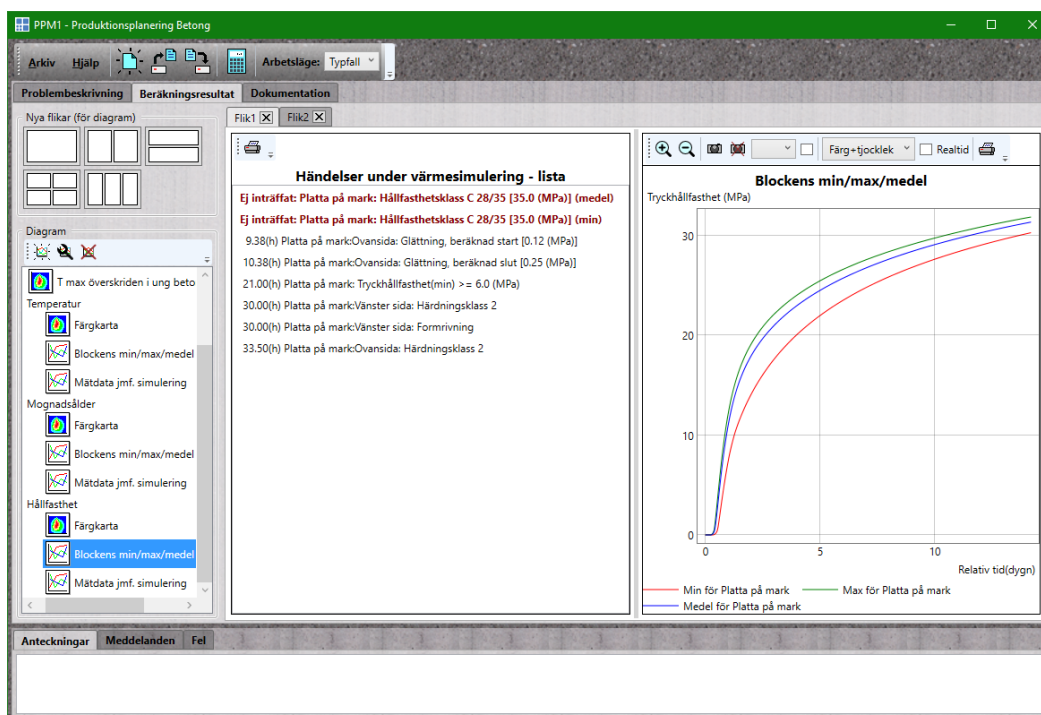


Figur 2. Platta på mark i PPB.

Plattan gjuts med **Cementa BasCem, C28/35, S3, Dmax=16mm** med en gjuttemperatur på 15 °C, se figur 2. Databasen i PPB innehåller betongrecept trendade efter var betongstationerna brukar ligga med en viss säkerhetsmarginal. Man bör alltid kontrollera med betongstationen både cementhalten och 28-dygshållfastheten för det receptet man beställer. Här antas att betongstationen presterar ett effektivt recept med 5 kg/m<sup>3</sup> lägre cementhalt jämfört med generell trend och 5 MPa högre 28-dygns hållfasthet och de föreslagna värdena efter valet av recept i PPB justeras därefter. Eftersom det senare för väggjutningen kommer att jämföras olika cement kommer alla recept som används i denna artikel att justeras på samma,

ovan angivna, sätt. Gjutningen specificeras ske momentant, dvs. PPB:s funktion för simulering av påfyllning i höjddled används inte eftersom konstruktionen bara är 25 cm hög. Ovansidan på plattan skall härddas till **Härdningsklass 2** enligt rekommendationer i SS 137006:2015 för exponeringsklass XC2 och den lämnas initialt fri, dvs. ingen täckning. Vänster sida får som form **Trä 22-25mm, oisolerat** och samma härdningsklass som ovansidan.

Simuleringslängden är initialt satt till 28 dygn men eftersom det är glättningen som är i fokus kan simuleringen förkortas. Efter utförd beräkning kontrolleras glättningstiden med hjälp av listan med **Händelser under värmesimuleringen**, se figur 3.

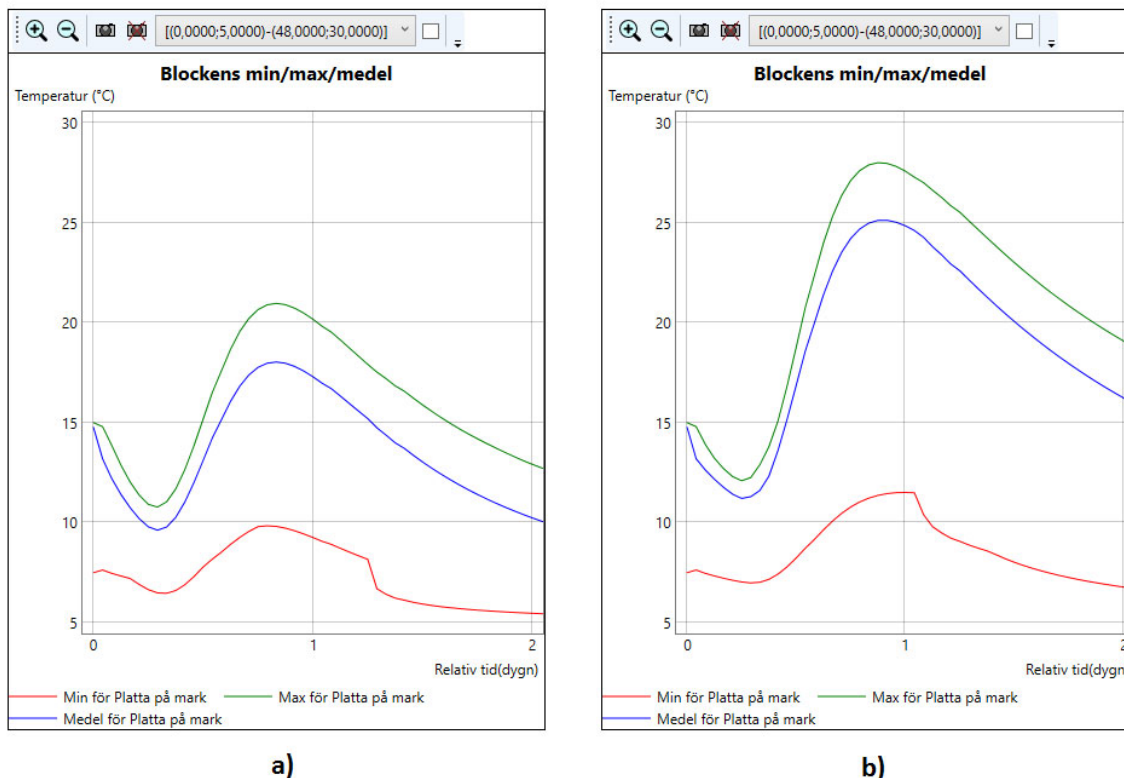


Figur 3. Resultatlista och hållfasthetsdiagram i PPB.

Denna simulering ger en beräknad glättningstid på över 9 timmar, vilket omöjliggör glättning inom samma skift. Eventuella varningar om att 28-dygns hållfastheten inte uppnåtts för specificerad hållfasthetsklass för plattan kan ignoreras i detta skede, eftersom simuleringens längd reducerades. Hur som helst så krävs det åtgärder för att förkorta väntetiden innan glättning kan påbörjas.

### *Jämför olika åtgärder*

Det kanske mest självklara och effektivaste i sammanhanget är att försöka hushålla med den värmeenergi som finns i betongen och inte låta den försvinna rakt ut i luften. Första åtgärden blir att lägga täckning på plattans ovansida – **Isolermatta 0.01 (m)**, på en timme efter gjutning – och räkna igen för att se vad åtgärden ger.



Figur 4. Jämförelse av värmeutveckling med och utan täckning.

Väntetiden innan glättning kortas ner till strax under 8 timmar, men den skulle helst behöva komma ner ytterligare. Jämförelse av temperatur mellan beräkningarna visar att det sker en nedkyllning i bägge fallen, men den är inte lika djup med täckning och hydratationen kommer då igång snabbare. Fler eller andra åtgärder verkar behövas.

Arbetsätt/material	Glättning efter (h)
Inga åtgärder	9,5
Täckning	8
Varm betong (20° C)	8,5
En hållfasthetsklass bättre betong (+5MPa)	9,5
Täckning + varm betong (20° C)	6,5
Täckning + en hållfasthetsklass bättre betong(+5MPa)	8

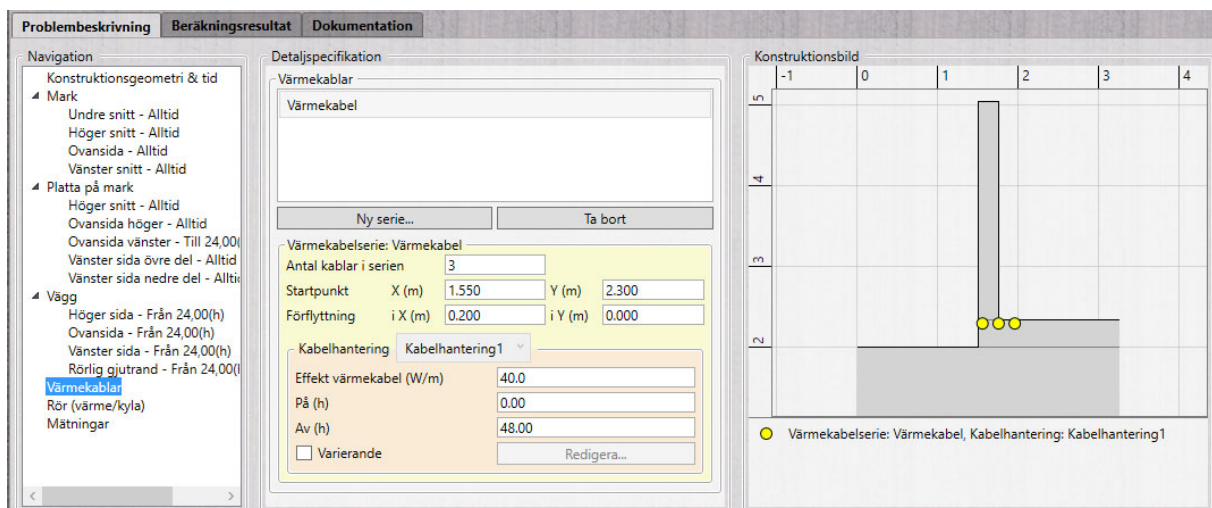
Tabell 1. Olika åtgärder och deras inverkan på glättningstidpunkt.

Av sammanställningen i tabell 1 framgår att kombinationen av täckning och varm betong löser problemet genom att möjliggöra glättning ca 6,5 timmar efter gjutning, vilket ryms inom ett och samma arbetsskift. Värt att notera är att höjning av hållfasthetsklassen på betongen inte verkar ge någon utdelning alls. Detta är inte särskilt märkligt eftersom glättning handlar om en extremt tidig hållfasthet och betongen ges här väldigt lite tid att komma igång, särskilt med tanke på den låga omgivningstemperaturen.

## Formrivning vintertid

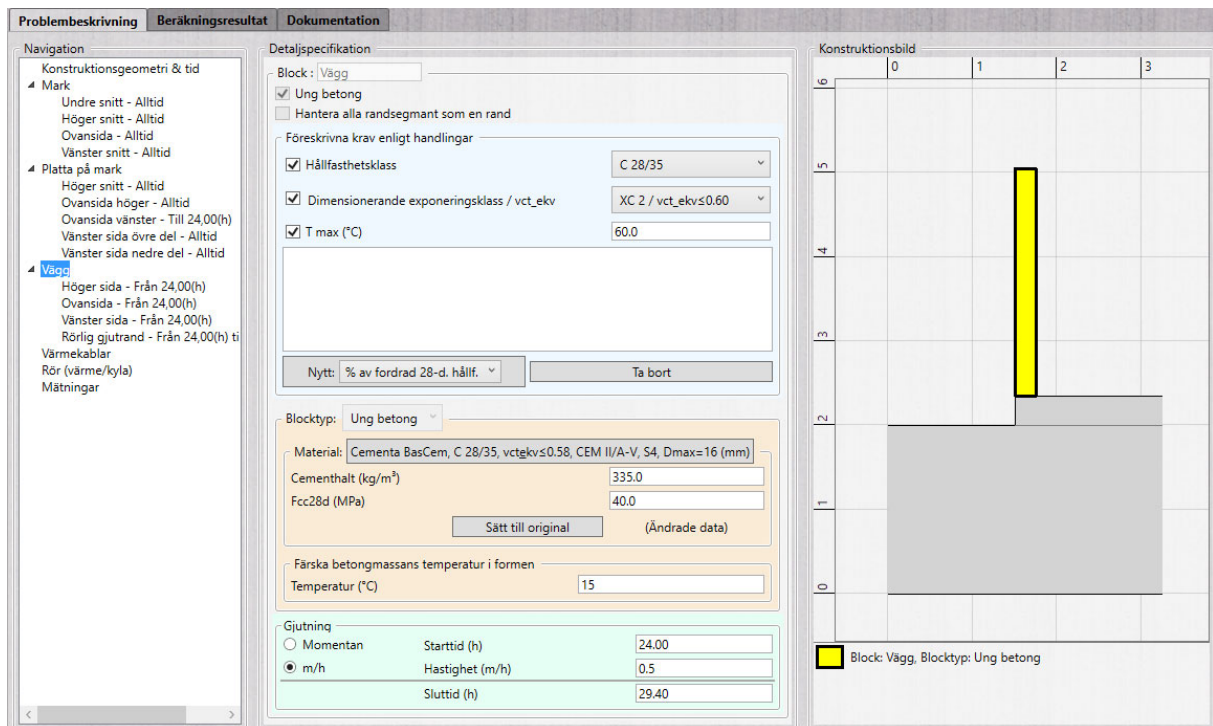
Vintergjutningen av källarytterväggen simuleras med typfallet **Vägg på platta på mark, kantsektion utan isolering**. Även här blir inte geometrin exakt eftersom plattan skall i verkligheten sticka ut litet, viket kan hanteras i det avancerade beräkningsläget i PPB. Denna skillnad kommer dock inte att påverka formrivningen i nämnvärd utsträckning och kan försummas i detta fall. Vintermiljön ger en yttemperatur för marken på 0 °C och som marktyp väljs **Morän/grus**. Lufttemperaturen antas till -5 °C, vilket bör motsvara ett vanligt förekommande dygnsmedel under vintern och vindstyrkan till **Blåst (6m/s)**. Starttemperaturen för den gamla plattan sätts också till 0 °C.

Eftersom motgjutningen inte får vara nollgradig behöver den förvärmas. Här antas det att man tänkt till innan gjutningen av plattan och placerat några värmekablar på överkantsarmeringen för just detta uppvärmningsändamål. I detta fall är det tre kablar med c/c 20 cm och en effekt på 40 W/m, se figur 6. Värmekablarna skall vara på under 48 timmar för att hantera två problem. De första 24h används för att förvärma plattan. De efterföljande 24h är för att säkerställa att viss hållfasthet uppnås i väggfoten. Eftersom en lufttemperatur på -5 °C i kombination med blåst har en betydande avkylningseffekt, kan den medföra att problem uppstår under hårdnandet av betongen i väggfoten och tippningskravet på 6 MPa som minimum i väggen kan blir svårt att uppnå. Man kan hantera problemet genom att tilläggsisolera, men eftersom värmekablar redan finns ingjutna i bottenplattan och körs före gjutningen är det enklast att låta dem vara på även under första gjutdygnet. Detta sprider värmen gynnsamt upp i väggens nedre region.



Figur 5. Förvärmning av kall platta på mark med värmekabel.

Plattan gjuts med **Cementa BasCem, C28/35, S4, Dmax=16mm** med en gjuttemperatur på 15 °C. På samma sätt som tidigare korrigeras cementhalten med -5 kg/m<sup>3</sup> och 28-dygnshållfastheten med +5 MPa. Här används möjligheten att simulera påfyllning i höjddled med en hastighet av 0,5 m/h. En viktig sak att komma ihåg är att simuleringens första dygn inte skall handla om väggens gjutning utan om förvärmningen av bottenplattan med värmekablarna enligt ovan. Under de första 24 timmarna skall det alltså inte finnas någon vägg och därför sätts starttid för gjutningen till 24h, se figur 6.



Figur 6. Fördröjning av gjutningen samt simulering av påfyllning för väggen.

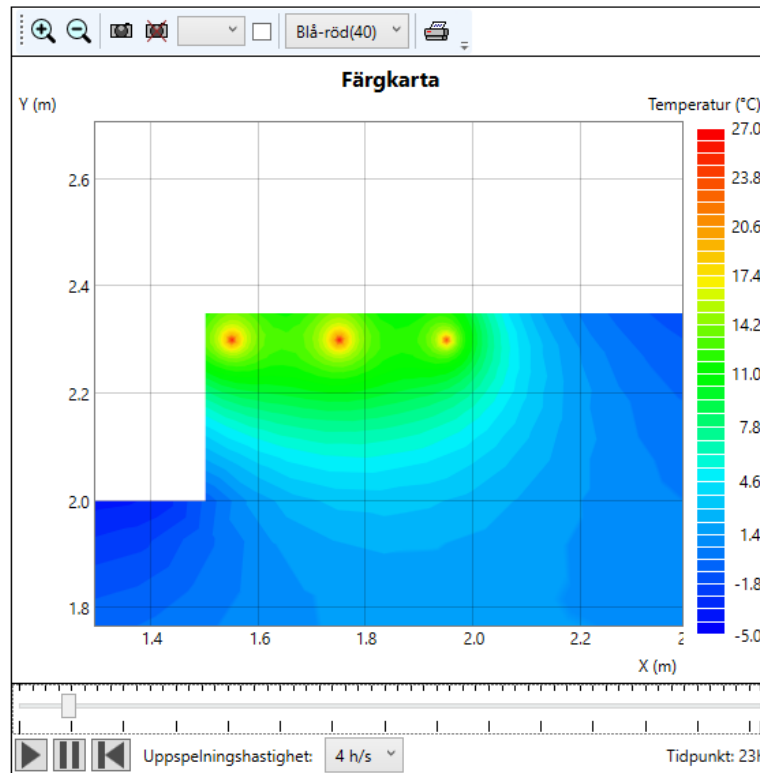
Ovansidan av marken lämnas fri. Plattan isoleras och täcks under uppvärmningen så att värmekablarna får en avsedd effekt. Dess ovansida är nu uppdelad i två – höger, som är en vanlig yttre rand under hela simuleringen, samt vänster, som är en yttre rand endast under de första 24 timmarna och kommer sedan att bli en inre kontaktyta mot den gjutna väggen.

**Isolermatta 0.10 (m)** väljs som täckning för bägge ovansidor, läggs på vid 0h och tas bort efter 24h. Även vänster sida är uppdelad i två: en övre del, som motsvarar väggformens överlappning och får sina egenskaper därifrån, samt en nedre del som skall isoleras med samma **Isolermatta 0.10 (m)** som användes för täckning.

Väggens båda sidor skall härdas tills Härdningsklass 2 är innefattad. För väggform kommer initialt **Plywood 19mm, oisolerad** att användas. Formrivningen skall ske automatiskt när härdningsklassens krav samt ”tippningskravet” på 6 MPa är uppfyllda, som PPB föreslår. Väggens topp har inget krav på härdningsklass eftersom det skall gutas vidare på den. Den lämnas tills vidare fri.

Efter utförd simulering måste uppvärmningen av bottenplattan kontrolleras. Om kanten inte är åtminstone 5 °C strax före gjutning behöver kanske fler åtgärder vidtas. För detta ändamål används färgkartan med temperatur. Plattan kan förstöras och färgkartan ställs in för att visa en stillbild vid 23h, se figur 7. Av bilden framgår klart och tydligt att erforderlig uppvärmning av motgjutningsytan är på plats och vägggjutningen kan påbörjas.

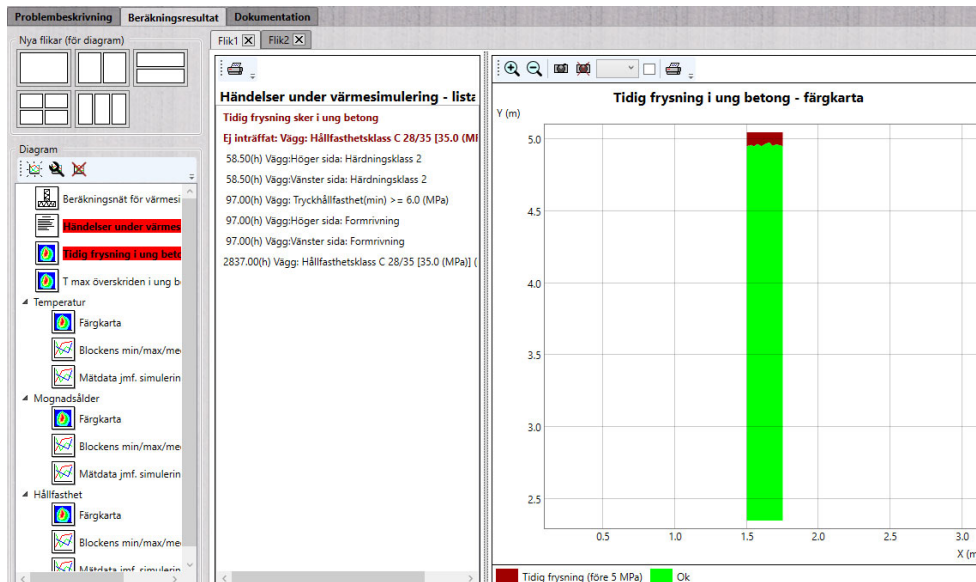




Figur 7. Kontroll av plattans temperatur före väggens gjutning

### Varning för tidig frysning

Eftersom beräkningen redan omfattar en gjutning är det bara att gå vidare och utforska resten av resultaten. Det första man upptäcker är en varning för tidig frysning, se figur 8.



Figur 8. Varning för tidig frysning i väggens topp i PPB.

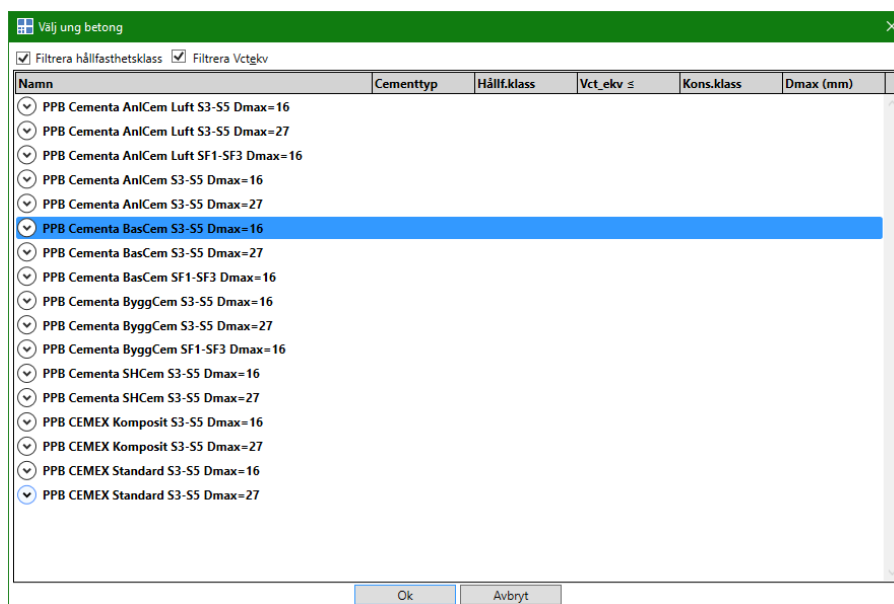
PPB kontrollerar automatiskt att den unga betongen inte fryser innan den uppnått 5 MPa i hållfasthet och varnar om detta sker. Av bilder framgår att väggens topp riskerar tidig frysning

vid aktuell gjutning. Det var tydligen inte bra att lämna väggens överkant helt utan skydd och åtgärd. Eftersom det kommer att sticka upp armering från den, är det i princip omöjligt att isolera eller täcka den ytan. Vad man däremot kan göra är att täcka in den inkl. den utstickande armeringen, så att man får bort vindens belastning samt att det bildas en ficka där luften värms upp av den unga betongen. Detta beskrivs i PPB som **Väderskydd**. Man kopplar på det på väggens topp och anger att lufttemperaturen innanför skyddet är 10 °C högre än lufttemperaturen utanför. Vid en ny beräkning med de nya åtgärderna kan det konstateras att den tidiga frysningen inte längre utgör en risk.

### *Olika cement presterar olika*

På samma sätt som olika åtgärders inverkan studerades tidigare för glättningen av plattan, skall det nu studeras betongens och cementets inverkan på formrivningstid för väggen. Formrivningstidpunkten studeras för både oisolerad 19mm plywood och plywood med 30mm bruten isolering som formmaterial.

PPB innehåller en stor databas med många olika betongrecept baserade på flera olika cement. Samtliga betongrecept är baserade på mätningar av cementens olika egenskaper och är utförda vid Luleå tekniska universitet, i samverkan och på uppdrag av resp. cementtillverkare.



Figur 9. Olika cement i PPB:s databas.

I denna jämförelse ingår fem betonger, baserade på totalt fyra cementsorter från två olika cementtillverkare. Recepten har Dmax=16mm och konsistensklass S4 för vibrerad betongmassa alternativt SF2 för självkompakterande betongmassa (SKB). Som hållfasthetsklass har valts den lägsta hållfasthetsklassen som uppfyller exponeringsklassens krav på vct ≤ 0,6 samt nominellt krav på hållfasthetsklass C 28/35. Eftersom de resulterande hållfasthetsklasserna blir olika, har även cementhalten redovisats i tabellen för jämförelsens skull.



Cement	Cementhalt (kg/m <sup>3</sup> )	Formrivning efter (h)	
		Oisolerad form	Isolerad form
Cementa Bas C28/35	335	33	22
Cementa Bas SKB C28/35	365	29	21
Cementa SH C30/37	355	30	21
CEMEX Komposit C45/55	370	21	18
CEMEX Standard C35/45	350	23	20

Tabell 2. Jämförelse av olika cement avseende formrivningstid.

Jämförelsen ger en viss variation i resultaten. För att reducera risken för feltolkning av detta bör några viktiga saker observeras:

- Cementhalterna varierar och alla recept kan inte anses jämförbara med varandra. Dock bör närliggande cementhalter möjliggöra en jämförelse i några av fallen.
- Cementtyperna är olika:
  - Cementa SH och CEMEX Standard är CEM I, dvs. ordinarie portlandcement utan mineral tillsatser.
  - Cementa Bas samt CEMEX Komposit är CEM II och innehåller flygaska (Cementa Bas) resp. slagg (CEMEX Komposit).
- De trendade betongrecepten är framtagna för att representera en genomsnittlig sammansättning och egenskapsutveckling av produktionen i Sverige med viss säkerhetsmarginal. Den korrigering av cementhalt samt 28-dygnshållfasthet som används i denna artikel är schematisk och skall ses endast som ett exempel. Data från de berörda betongstationerna bör användas i verkligheten! Kontakta dem och efterfråga deras data.

### ***Härdningsklassens inverkan***

Härdningsklass för betongytan skall föreskrivas enligt utförandestandarden för betongkonstruktioner (SS-EN 13670:2009). Rekommendationer för val av lämplig härdningsklass finns i den svenska tillämpningsstandard (SS 137006:2015) för användning av SS-EN 13670 i Sverige. Kravet för ytans härdningsklass får en helt annan betydelse jämfört med det gamla krav enligt BBK, som rekommenderade att medelhållfastheten för konstruktionsdelen skulle innefatta minst 50% av den nominella hållfastheten innan formrivning. Härdningsklass 2 förutsätter att betongytan härddas till 35% innan exempelvis avtäckning eller formrivning tillåts. För härdningsklasserna 3 och 4 fordras härdning till 50% respektive 70% av nominell hållfasthet.

För att ytterligare belysa betydelsen av olika förutsättningar och val har en studie av härdningsklassens inverkan på formrivningstiden gjorts för denna vintergjutning. Förutsättningarna är som ovanför med **Cementa Bas C28/35 S4 Dmax=16mm** som recept.

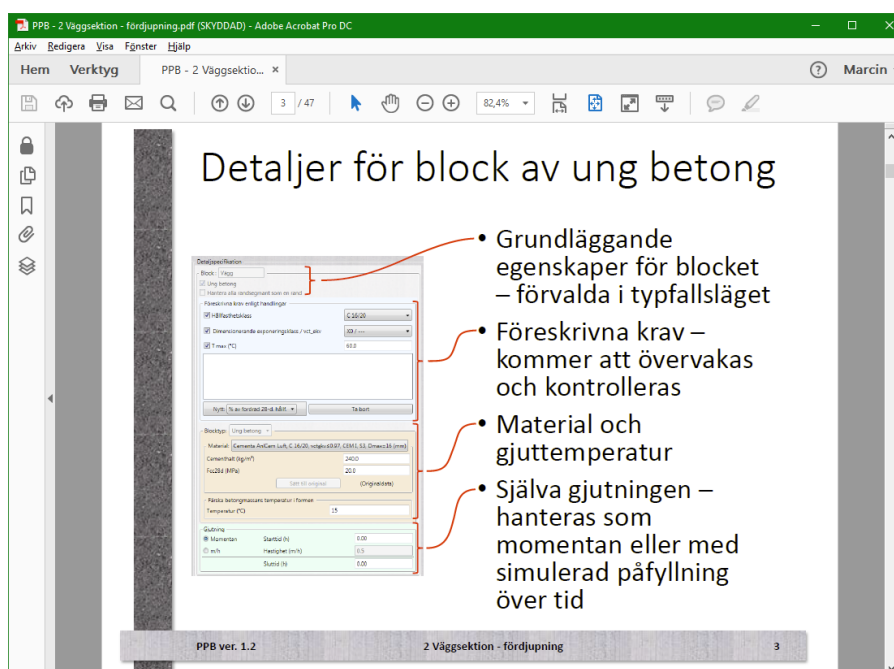
Härdningsklass	Formrivning efter (h)	
	Oisolerad form	Isolerad form
2	33	22
3	71	32
4	422	73

Tabell 3. Formrivningstider för Basement C28/35 vid olika härdningsklasser för väggen.

Den föreskrivna härdningsklassen har stor inverkan på formrivningstiderna och kommer att vara väldigt gränssättande för gjutcykelns utformning, särskilt i vintermiljö.

### Utbildningspaket för kurser och självstudier

För att underlätta användningen av PPB har ett utbildningspaket tagits fram. Paketet består av 12 kapitel som behandlar olika delar av simuleringsverktyget där olika vanliga gjutsituationer och typfall används som konkreta exempel. Succesivt förklaras både enkla och mer avancerade funktioner i PPB. Olika sätt att utvärdera resultaten presenteras. Materialet täcker även detaljerade exempel på problemlösning av samma slag som i denna artikel.



Figur 10. Exempel ur kurspaketet.

Utbildningspaketet har utformats för två typer av användning. Det kan användas för självstudier. Därför är det inkluderat som manual i PPB och både dess översikt samt dess kapitel kan nås från Hjälpmenyn. Det kan även användas som underlag för kurs både internt hos större organisationer och extern i kurser erbjudna av byggbranschens utbildare. Som exempel på internutbildning kan samverkan mellan ESS och Skanska Teknik nämnas, där byggarbetsplatsen insett värdet i planeringen som PPB möjliggör och valt att anlita entreprenörens experter för utbildning.



Figur 11. ESS

När det gäller extern utbildning så erbjuder varken Sveriges Byggindustrier, CBI eller DTI i skrivande stund någon utbildning kring PPB. Företrädare för dessa har dock blivit kontaktade och erbjudna utbildningspaketet. Det är alltså inte orimligt att förvänta sig någon regelrätt kurs inom kort.

### ***Sammanfattning***

**Produktionsplanering Betong** är ett fritt och branschgemensamt verktyg för planering av betonggjutningar. Det kan användas till att:

- simulera härdning och räkna på glättningstider och formrivningstider vid exempelvis tuffare väderlek.
- undersöka hur olika åtgärder påverkar härdnande och jämföra deras effektivitet.
- få kontroll över gjutningsprocessen och underlätta optimal användning av såväl arbetskraft som material.
- få flyt i arbetet och spara både tid och pengar

Ett utbildningspaket som underlättar inläring av verktyget finns nu tillgängligt. Både verktyget och utbildningspaketet kan laddas ner kostnadsfritt från SBUF:s websida.

### ***Artikelförfattare***

M.Sc. Marcin Stelmarczyk, The Green Dragon Magic.

Dr. Hans Hedlund, Skanska Sverige AB. Adj. Professor, Luleå tekniska universitet, Inst. för Samhällsbyggnad.

M.Sc. Ted Rapp, Sveriges Byggindustrier Service AB.

Dr. Jan-Erik Jonasson, Gästprofessor, Luleå tekniska universitet, Inst. för Samhällsbyggnad.