



Nr C 250
Juni 2017

Blå Jungfrun version 2017 med nya cement

inklusive potentiella förbättringar och karbonatisering

Martin Erlandsson



Reviderad september 2017

Författare: Martin Erlandsson, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: Svenskt Betong

Fotograf: Martin Erlandsson

Rapportnummer C 250. Rapporten är en reviderad version av en rapport utarbetad juni 2016.

ISBN 978-91-88319-69-2

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2017

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	4
1.1	Introduktion	4
1.2	Mål, syfte och avgränsningar	5
2	Metodik.....	6
2.1	Nytt cement på svenska marknaden.....	6
2.2	Materialbesparing	9
3	Resultat och diskussion.....	10
4	Slutsatser.....	14
5	Referenser.....	15

1 Bakgrund

1.1 Introduktion

IVL har tillsammans med KTH genomfört en livscykelanalys (LCA) för flerbostadshuset Blå Jungfrun i Hökarängen, Stockholm. Syftet med studien var att i detalj genomföra en LCA för en byggnad och redovisa resultatet på ett transparent sett. En av de intressantaste delarna i rapporten var att utreda andelen av klimatpåverkan från byggskedet i förhållande till klimatpåverkan för användningskedet. Underlagsdata för beräkningarna av LCA:en för byggnaden kommer från en produktionskalkyl som Skanska tagit fram. De ursprungliga LCA-beräkningarna gjordes av Skanska enligt Anavitorkonceptet som är baserad på LCA-data från IVL Miljödatabas bygg. Beräkningarna sammanställdes och redovisades i en rapport 2015 (Liljenström m.fl. 2015). För mer information om de ursprungliga beräkningarna och information om byggnaden hänvisas till den ursprungliga rapporten.

Blå jungfruns konstruktion baseras på VST-konceptet¹ som innebär att cementbundna skivor används som kvarsittande form för både bjälklag och väggar. På så sätt kan stommen resas snabbt. Förutom de produktionstekniska fördelarna blir resultatet en lufttät och fuktsäker ytterväggskonstruktion. Termiskt sett hamnar betongen på insidan vilket bidrar till en ökad tidskonstant, vilket är gynnsamt både ur termisk komfortsynpunkt och för energihushållningen. Blå Jungfrun är projekterad för, och uppfyller även under faktisk drift, de svenska kraven för passivhus på 55 kWh/m² enligt FEBY12 (Erlandsson m.fl. 2012).

Tidigare genomförda beräkningar visar att omkring halva byggnadens miljöpåverkan kommer från betong, cement- och betongprodukter och armering (Liljenström m.fl. 2015). De LCA-data som använts utgår från Skanskas betongrecept vid tidpunkten då huset uppfördes. Cementen som använts är därför Byggcement från CEMENTA. De LCA-data som används är specifika data från produktionen av cement från CEMENTA och betong från Skanskas betongfabriker. I originalrapporten görs en känslighetsanalys där den massiva yttervägen byts till en lätt utfackningsvägg av betong, vilket minskar miljöpåverkan med ungefär en åttondel. Ur ett betongperspektiv är det dock mer intressant att behålla den massiva betongväggen med utanpåliggande isolering och tunnputs, som bedöms som en tekniskt sett mer robust konstruktion. Men för att minska miljöpåverkan är det allra mest intressant att analysera alternativa typer av bindemedel, vilken är det enskilda material som bidrar mest till miljöpåverkan för byggnaden. En ytterligare möjlighet som ofta används för miljöförbättringar är att minska på mängden ingående material, förutsatt att funktionen blir den samma.

¹ <http://www.webbyra.net/2016/vst-systemet/>

1.2 Mål, syfte och avgränsningar

Uppdraget syftar till att studera hur tidigare LCA-beräkningar för Blå Jungfrun påverkas av användning av nya cement och/eller användning av betong där delar av cementklinker byts ut mot alternativa bindemedel. Det görs genom nya beräkningar där cementet varieras. Beräkningar görs med och utan karbonatisering samt även beräkningar för att studera effekten av minskad materialmängd. Beräkningarna görs enligt följande tre scenarior:

- Scenario 1: Cement av typ CEM II (innehåller 80-94% klinker och 6-20 % tillsatsmaterial) . Som exempel kan Cementas Bascement användas, men det finns fler cement av den typen på svensk marknad. Med och utan karbonatisering.
- Scenario 2: Cement av typ CEM II (innehåller 80-94% klinker och 6-20 % tillsatsmaterial) med inblandning av alternativa bindemedel d.v.s. 35 % flygaska alternativt 35 % slagg. Som exempel kan Cementas Bascement användas men det finns fler cement av den typen på den svenska marknaden, med eller utan karbonatisering. För att förenkla kan man utgå från att de alternativa bindemedlen inte bidrar till karbonatiseringen (då en ekonomisk allokering gjorts för dessa restprodukter).
- Scenario 3: Scenario 1 och 2 beräknat med minskad materialmängd om 10 %, 20 %, respektive 30 %.

Målet med studien är att testa de scenarion som beskrivs ovan och redovisa vilka konsekvenser detta har för byggnadens totala klimatpåverkan, i syfte att uppdatera LCA så att den beskriver:

- Den klimatpåverkan som Blå Jungfrun har om den skulle byggts idag med cement motsvarande Cementas Bascement (dvs scenario 1)
- Den miljöpåverkan som Blå Jungfrun skulle kunna ha idag om den utförts med miljöanpassad betong med ett bindemedel som innehåller 50 procent ersättningsmaterial (d.v.s. scenario 2)
- Den teoretiska besparing som minskad användning av betong skulle ge, förutsatt att de grundläggande kraven på konstruktionen fortfarande uppfylls (d.v.s. scenario 3)

I analysen ingår bara ändringar och justeringar av den betong som används i byggnaden. Ingen hänsyn har tagits till de brister som identifierats i beräkningarna, det vill säga framför allt: att hissen inte ingår i inventeringen och att data för rivningen (skede C) är underskattade. Däremot är karbonatiseringen tillagd, då den inte var med i originalberäkningen. När originalberäkningarna gjordes saknades en allmänt accepterad metodik för bedömning av karbonatisering kopplad till den LCA-standard som vi följer i beräkningarna för alla byggmaterial (EN 15804). Enligt scenario 3 analyseras potentiella



materialminskningar, och en minskning på mer än 10 procent kräver en omprojektering, vilket inte ingår i uppdraget, varför besparingar på 20 procent respektive 30 procent får betraktas som hypotetiska så länge en kompletterande projektering inte är gjord.

2 Metodik

Övergripande metodantaganden beskrivs i originalrapporten. Generellt sett följer vi LCA-regler för byggmaterial enligt EN15804 (som är kopplad till byggproduktförordningen), samt EN 15978 som anger LCA-regler för byggnader.

2.1 Nytt cement på svenska marknaden

Cementa lanserade 2013 ett nytt cement på den svenska marknaden som ersatte Byggcement som lanserades 1999. Detta nya cement ersätter Byggcement som introducerade mald kalksten som ett sätt att förbättra klimatpåverkan. Bascementen har en ytterligare bättrad miljöprofil, vilket åstadkommit genom att en del av portlands-cementen bytts ut mot flygaska. En annan fördel med den nya bascementen är att bascementen har mellan 20 och 30 procent lägre behov av flyttillsatser, då flygaskan ger en smörjande effekt, medan doseringen av luftporbildande tillsatsmedel ökar till ungefär det dubbla.

Bascementen är av typen CEM II/A-V 52,5 N med ett krav på minst 65 procent klinkerinnehåll (gipstillsaten oräknad). Cementas Bascement innehåller minst 80 procent klinker och alltså högst 20 procent "andra tillsatser", gipsen oräknad. Tillsatserna utgörs normalt av ca 15 procent flygaskan och ca 5 procent av kalkfiller. Totalt sett utgör gipsen 5 procent vilket gör att bascementen innehåller 75 procent klinker. Klinker utgör karbonatiserbart material i en LCA.

Även flygaskan karbonatiseras, men den har inte fått "fullständig miljöryggsäck eftersom en ekonomisk allokeringmetod har tillämpats (enligt EN 15804). På grund av detta kan man inte tillgodoräkna sig karbonatisering från de alternativa bindemedlen, då man inte har "tagit ansvar" för utsläppen vid produktionen. Det framgår inte vilken miljöpåverkan som Cementa använder för flygaskan, men man vet att de tillämpar EN15804 ekonomiska allokeringsregel, som är tillämplig för biprodukter med ett lågt ekonomiskt värde och/eller en liten andel av den totala produktionen.

Vi har i våra beräkningar för alternativa bindemedel använt EPD-data baserat på EN15804 allokeringsprinciper och med ett värde på 0,15 kg CO_{2e}/kg. I praktiken betyder detta att alla resultat som anges här gäller under förutsättning att den ekonomiska allokeringsmodellen som går att använda enligt EN 15804 tillämpas.

I denna rapport har vi valt att ange mixen mellan cementklinker och andra tillsatser (inklusive gips) genom att skriva ut andelen cement/andelen övriga råvaror i cementen, ex (75/25) för Byggcementen.



Vid tillverkning av cementklinker tillförs kalksten i en roterugn. Vid denna kalcinering avgår koldioxid till luft och kvar blir kalciumoxid (CaO). Råmaterialet till cementtillverkning utgörs endast delvis av karbonat (CaCO₃). I cementklinkern är halten CaO 65,6 %, vilket gör att varje kilogram bränd cementklinker släpper ut 0,52 kilogram CO₂ vid kalcineringen ($100 \text{ kg} \cdot 0,656 \cdot 44/56 = 52 \text{ kg}$)².

För Cementas bascement (2014) finns en EPD framtagen. Tillverkningen sker i Sverige och EPD:n inkluderar uppmätta utsläppssiffror från Cementas anläggningar. När det saknats emissioner från tillverkningen har generella data från Cembureau används. Notera att 72 g CO₂e/kg cement har sitt ursprung från avfall som i Sverige allokeras till cementugnen, men som skulle kunna tolkas enligt EN15804 att den (helt eller delvis) kan allokeras till det system som genererar avfallet. Tillverkningsprocesserna för att tillverka cementen, enligt EPD:n, släpper totalt ut (skede A1-3) 668 g CO₂e/kg.

Tabell 1 Gemensamma indata för karbonatiseringsberäkningarna för Blå Jungfrun

	Gemensamma indata			Exponeringsfaktorer	
	antal sidor	m ²	Cement, kg/m ³	DoC, %	k-faktor
Platta, grund	1	3720	290	85 %	0.8
Bjälklag	1	6665	350	40 %	4.6
Yttervägg	1	3002	350	40 %	4.6
Innervägg inkl. trappa	2	12857	350	40 %	4.6

² Molmassan för CO₂ är 44 g/mol och motsvarande för CaO är 56 g/mol.



Tabell 2 Indata för karboniseringsberäkningarna för Blå Jungfrun och de olika cementtyperna som används

Byggcement (90/10)				
	reaktiv CaO, kg/kg	Korr. k- faktor	kg CO ₂ /m ² *50 år	kg CO ₂ /m ² *100 år
Platta, grund	0.9	1	0.61	0.87
Bjälklag	0.9	1	2.01	2.84
Yttervägg	0.9	1	2.01	2.84
Innervägg inkl. trappa	0.9	1	2.01	2.84
Basement (75/25)				
Platta, grund	0.75	1.05	0.54	0.76
Bjälklag	0.75	1.05	1.76	2.49
Yttervägg	0.75	1.05	1.76	2.49
Innervägg inkl. trappa	0.75	1.05	1.76	2.49
Alternativa bindemedel (40/60)				
Platta, grund	0.4	1.25	0.34	0.48
Bjälklag	0.4	1.25	1.12	1.58
Yttervägg	0.4	1.25	1.12	1.58
Innervägg inkl trappa	0.4	1.25	1.12	1.58

Karbonatiseringen har beräknats enligt bilagan "Annex BB". Som framgår av Tabell 1 så sker karbonatiseringen bara på en sida av två möjliga för de flesta konstruktionslösningar, (det vill sägas Annex BB anger att skikt såsom plast mattor, klinker, parkett, laminatgolv har k =0). Beräkningarna i övrigt följer originalrapportens grundscenario för en byggnad vars beräkningsmässiga livslängd är satt till 50 år.

2.2 Materialbesparing

Ett vanligt sätt för att minska miljöpåverkan är att minska mängden material, förutsatt att samma funktion erhålls. En minskning med betonganvändningen med 10 procent är möjlig utan att det kräver någon form av konstruktionsberäkningar. En större minskning kräver däremot en omprojektering, vilket inte ingår i uppdraget, varför besparingar på 20 respektive 30 procent får betraktas som; ”vad händer om man minskar betongmängderna med 20 respektive 30 procent”. Dimensionerna på väggar och bjälklag framgår av Tabell 3.

Tabell 3 Betongdimensioner på bjälklag, bärande innerväggar och platta på mark i Blå Jungfrun jämfört med typisk nykonstruktion av flerfamiljshus (Kellner 2014;Larsson 2014)

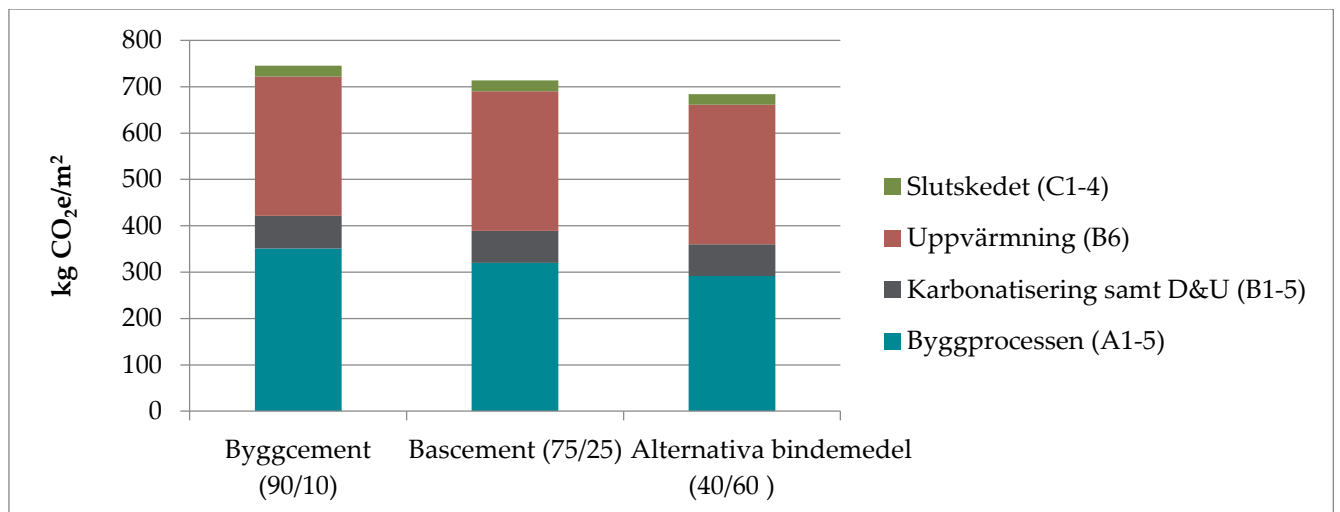
• Bygghet	• Blå Jungfrun	• Typisk nykonstruktion flerfamiljshus
• Bjälklag	• 300 mm	• 250-300 mm
• Bärande innerväggar	• 200 mm + 2x24 mm cementbunden spånskiva	• 180-200 mm
• Platta på mark	• 160-200 mm	• 200 mm

Ser man till Abetongs skalväggar som delvis kan jämföras med VST-konceptet så finns det en innervägg på 180 mm bestående av två stycken betongskivor på 50 mm vardera, vilket innebär att ett hålrum på 80 mm fylls på plats. Analogt med VST-väggen skulle VST-skalväggen således kunna minskas till 80 mm betong plus 2x24 mm cementbunden spånskiva, sett ur ett produktionsperspektiv. Den tunnaste lagerhållna massiva innervägen hos Abetong är 120 mm. Man skulle således kunna anta att det går att minska mängden betong i innerväggar med 40 procent (200-120/200) ur ett produktionsperspektiv. I (den bärande) ytterväggen skulle en minskning till 150 mm betong innebära en besparing på 25 procent. Ett betongbjälklag på 200 mm är inte orimligt, vilket skulle innebära en besparing på 33 procent i förhållande till 300 mm (exklusive den cementbundna skivan). Med andra ord kan en omprojektering möjliggöra en minskad användning av betong till maximalt cirka 30 procent i förhållande till de dimensioner som används i Blå Jungfrun.

Utöver dessa alternativ kan en platsgjuten konstruktion förenklat analyseras om den cementbundna skivan tas bort. Denna skiva består till övervägande del av cement och påverkar därför klimatpåverkan i Blå Jungfrun på ett signifikant sätt.

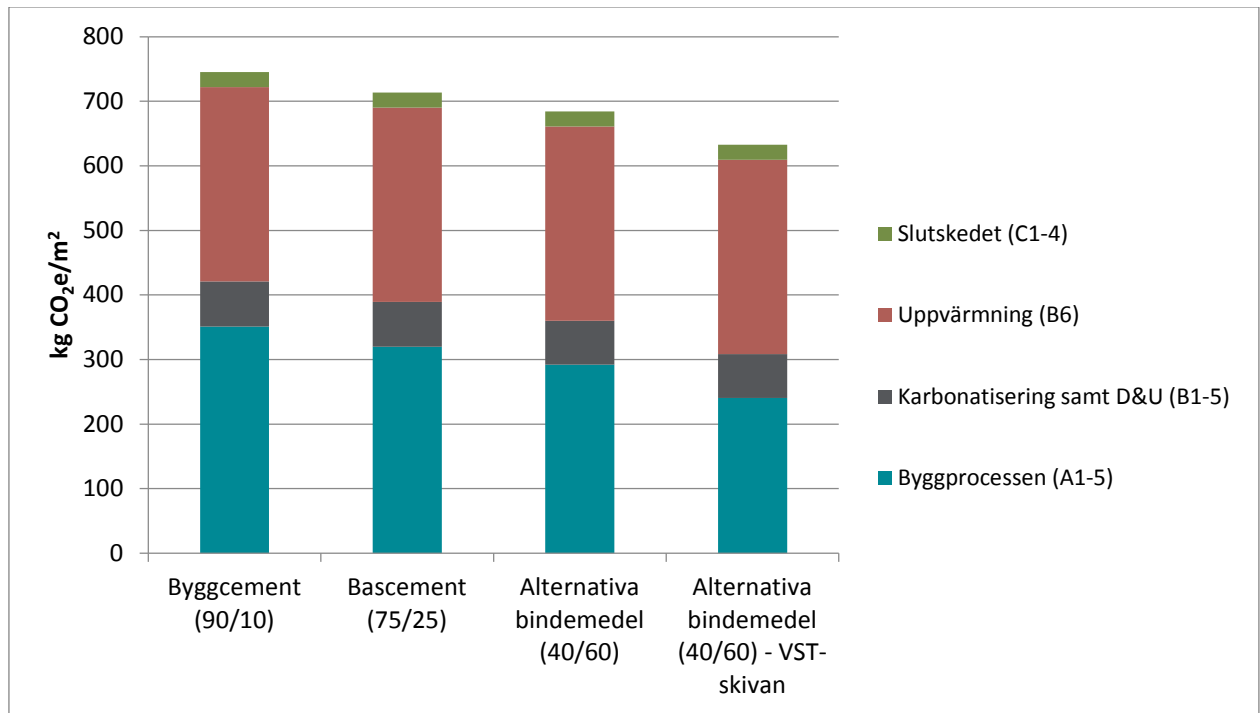
3 Resultat och diskussion

När byggnaden ursprungligen uppfördes användes Byggcement, som är en produkt från Cementa. Idag fasas denna cement ut till förmån av Bascement. Bascementen innehåller 25 procent tillsatser (inklusive gips) där flygaska dominerar, vilket ger en minskad klimatpåverkan för Blå Jungfrun, om den skulle byggts idag. Stapeln i Figur 1 motsvarar de beräkningar som gjordes i originalrapporten (Liljenström m.fl. 2015), frånsett att karbonatiseringen lagts till under användningsskedet. Bidraget från karbonatiseringen i detta skede påverkar inte slutresultatet nämnvärt. Ytterligare minskad klimatpåverkan erhålls om andelen cementersättningsprodukter ökar, vilket här erhållits genom att analysera ett bindemedel med 40 % klinker resten alternativt bindemedel (såsom aska och slag).



Figur 1 Klimatpåverkan för Blå Jungfrun version 2016 vid en livstid på 50 år och uppvärmning med fjärrvärme. Originalversionen motsvarar stapeln för Byggcement (90/10), d.v.s. 90 % cement och 10 % andra tillsatser. I förhållande till originalberäkningarna har enbart cement i betongen ändrats i skede A. I skede B har karbonatiseringen inkluderats, som maximalt sänker utsläppen från betongen med 3,5 % under skede B.

I utredningen ingick bara att analysera alternativa betonger. Men eftersom den cementbundna skivan som används i VST-konceptet, på ett betydande sätt bidrar till stommens miljöpåverkan (51 kg CO_{2e}/m²), analyseras även en alternativ konstruktion som förutsätter att stommen istället platsgjuts. På så sätt kan miljöpåverkan för "VST-skivan" räknas bort, se Figur 2 och Figur 4.



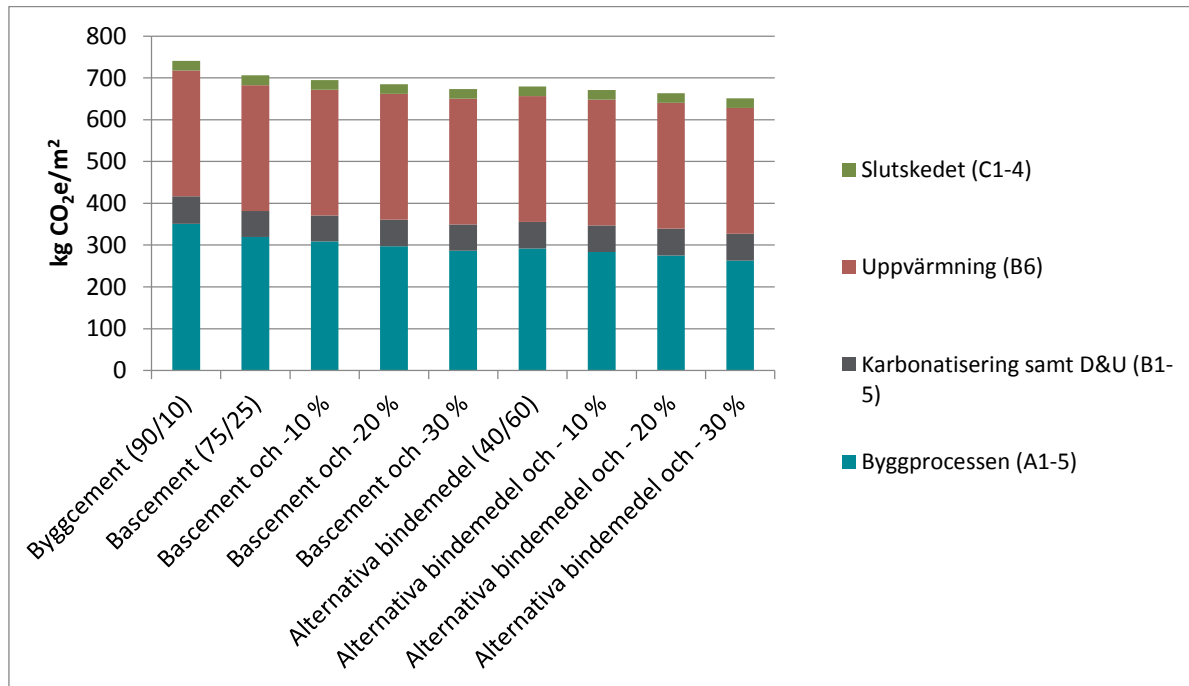
Figur 2 Klimatpåverkan för Blå Jungfrun version 2016 vid en livstid på 50 år och uppvärmning med fjärrvärme. Originalversionen motsvarar stapeln för Byggcement (90/10). Bascement är det cement som idag ersätter Byggcement från Cementsa och ett en "grön" cement som utgår från Bascement och där slagg lagts till som ett alternativt bindemedel och innehåller då totalt 60 % tillsatser. Den högra stapeln inkluderar utöver användning av slaggcement att VST-skivan tagits bort vilket kräver att stommen platsgjuts istället.

I Figur 3 ingår resultatet av de beräkningar som omfattas av scenario 1 till 3.

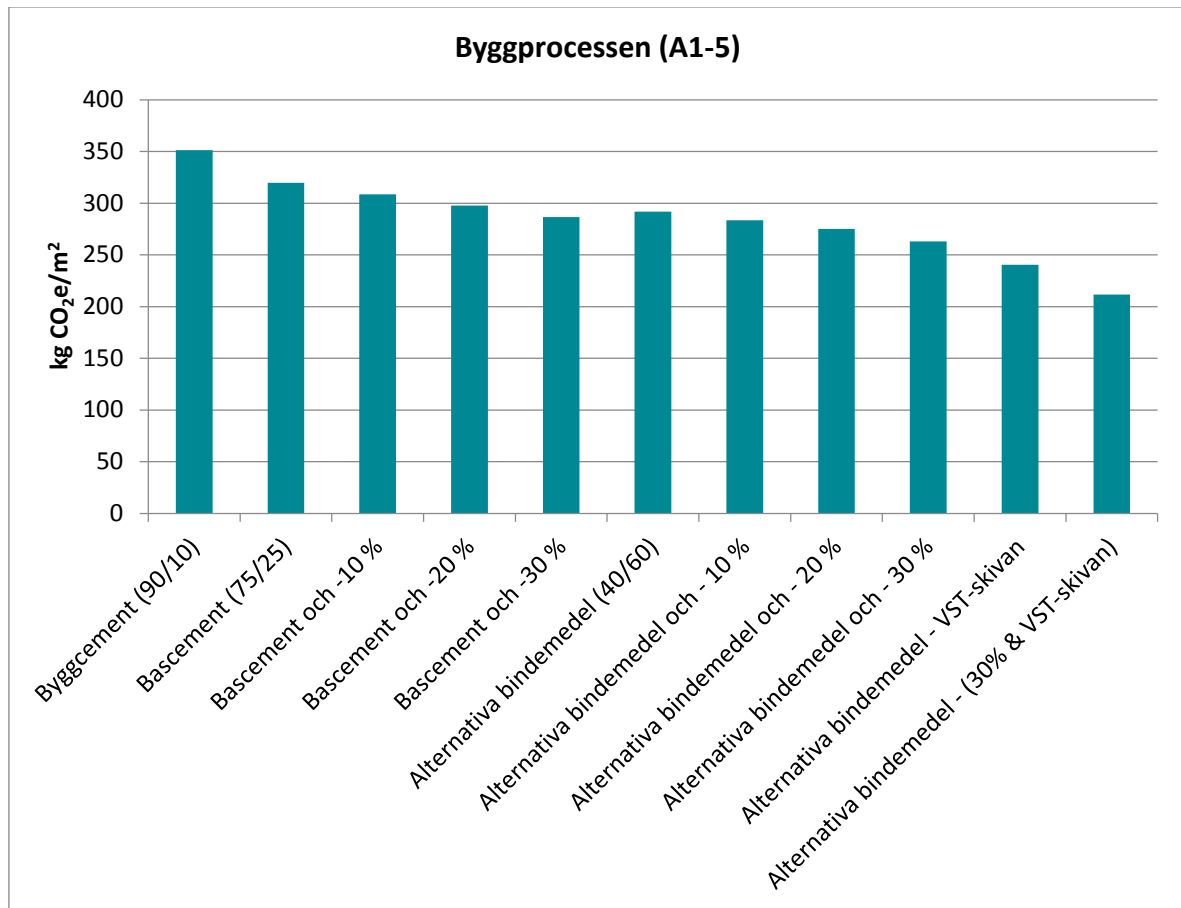
Klimatpåverkan för byggskedet (skede A) minskar då från 351 kg CO_{2e}/m² till 263 kg CO_{2e}/m². I Figur 4 visas klimatpåverkan bara för byggprocessen och inkluderar även att VST-skivan tagits bort, med två varianter motsvarande följande två scenarierna:

- Platsgjuten betong med alternativa bindemedel
- Platsgjuten betong med alternativa bindemedel och 30 % materialbesparing.

Klimatpåverkan för byggskedet (skede A) minskar i ovanstående scenarier från 351 kg CO_{2e}/m² till 240 respektive 212 kg CO_{2e}/m².



Figur 3 Klimatpåverkan för Blå Jungfrun version 2016 vid en livstid på 50 år och uppvärmning med fjärrvärme. Tre olika typer av cement har analyserats samt en minskad betonganvändning för bascement och betong med alternativa bindemedel som inkluderar slagg på 10, 20 och 30 procent.



Figur 4 Klimatpåverkan för byggprocessen (modul A1-5) – från byggstart till och med huset stod färdigt - av Blå Jungfrun version 2016, vid en livstid på 50 år och uppvärmning med fjärrvärme. Originalversionen motsvarar stapeln för Byggcement (90/10). Bascement är det cement som idag ersätter Byggcement från Cementsa och en betong med alternativa bindemedel som inkluderar alternativa bindemedel som innehåller 60 % andra tillsatser, samt att detta kombinerats med en minskad betonganvändning på 10, 20 och 30 %. I de två högra staplarna har VST-skivan tagits bort vilket kräver att stommen platsgjuts.

4 Slutsatser

Tidigare gjorda beräkningar av klimatpåverkan från Blå Jungfrun har baserats på historiskt producerad cement. Denna studie visar att klimatpåverkan kan minskas betydligt genom användning av nyare bindemedel med lägre andel cementklinker eller genom att minska mängden betong i byggnaden. I praktiken betyder detta att betongkonstruktion har en stor klimatförbättringspotential (Erlandsson 2016).

Om vi summerar samtliga analyserade besparingsåtgärder i den här genomförda studien av Blå Jungfrun i version 2017, så minskar betongens andel av hela byggnadens klimatpåverkan från 143 till 55 kg/m², om man bara tar hänsyn till förbättringar av betongen. Om man dessutom lägger till VST-skivan till "betongens" klimatpåverkan minskar belastningen från 194 kg CO₂e/m² till 55 kg/m². Dessa scenarion motsvarar en förbättringspotential på hela 62 eller 72 procent, om man i det sista scenariot genomför samtliga förbättringar, platsgjuter med form och därmed tar bort VST skivan. Byggskedets totala klimatpåverkan (skede A) reduceras i det sistnämnda fallet från 351 kg CO₂e/m² till 212 CO₂e/m².

Det finns andra förbättringar att göra av betongstommen än vad som inkluderas i denna studie, varför klimatpåverkan skulle kunna sänkas ytterligare. En sådan utvidgad analys bör inte begränsas till enbart betongen, utan betrakta hela byggnadssystemet med alla dess material, och de prestandakrav som måste uppfyllas på byggnadsverksnivån så att alla funktionskrav uppfylls. En sådan optimering skulle sannolikt också kräva en detaljprojektering. Rapportens resultat visar med all tydlighet att klimatkrav på ett byggnadsverk inte ska ställas som en teknisk lösning utan som ett prestandakrav, som baseras på LCA-metodik. På så sätt erhålls ett utvecklingsbefrämjande och konkurrensneutralt klimatkrav som leder till en mer hållbar framtid.



5 Referenser

ASTM (2015): ASTM EPD for slagg cement. Slag Cement Association (SCA), Declaration Number, EPD- 011, ASTM International 2015.

Abetong (2016): Produktblad Massivvägg, nedladdat från nätet 1 juni 2016.

Abetong (2016): Produktblad Skalvägg, nedladdat från nätet 1 juni 2016.

CEN: Annex BB (informative). CO₂-uptake by carbonation — Requirements and guidance on calculation. Annex included in prEN 16757:2016, dated 2016-05-17.

Erlandsson M, Ruud S, Sandberg A, Blomsterberg Å, Eek H, Ingulf O (2012): Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus. Bostäder. FEBY 12. Sveriges centrum för nollenergihus. LTH rapport EBD-R-12/36, IVL rapport nr B 2027, ATON rapport 1201, Jan 2012, Justerad 05 september 2012

Erlandsson M: Podcast: <http://www.svenskabetong.se/betongmaffian/895-livscykelanalys>, 2016.

Kellner, J. (2014). Betongdimensioner i nykonstruktion. [E-mail] Personlig kommunikation med Johnny Kellner, Veidekke.

Larsson, G. (2014). Betongdimensioner Blå Jungfrun. [E-mail] Personlig kommunikation med Gustav Larsson, Skanska.

Liljenström C, Malmqvist T, Erlandsson M, Fredén J, Adolfsson I, Larsson G, Brogren M. Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapportnummer B2217, 2015.

