



# Cementsnåla husgrunder



# Cementsnåla husgrunder

Energieffektiva och klimatvänliga husgrunder  
genom användning av cementbunden makadam

Miklós Molnár, Lunds tekniska högskola

David Wahlbom, Lunds tekniska högskola/WSP





## Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. Hållbarhet, effektivitet och robusthet i bebyggelsen behöver stärkas och utvecklas. Lösningarna behöver samspela för att fungera och utnyttjas. Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering spelar en avgörande roll.

I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen. Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmet startade 2013 och en andra programperiod pågår mellan 2018 och 2024. Projektet som beskrivs i den här rapporten har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten.

Stockholm, 21 december 2022

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



## Sammanfattning

Dagens husgrunder byggs med överkapacitet, vilket innebär att man slösar med resurser. Genom att använda en teknik som kallas cementbunden makadam (CBM), kan välfungerande grundplattor byggas med mellan 60 - 65 procent mindre cement än vad som är vanligt idag.

Cementbunden makadam är en betonglösning som innebär att man lägger ut ett lager av grovmakadam i önskad tjocklek och därefter infiltrerar makadamlagret med ett lättflytande bruk. Lager med tjockleken upp till 400 millimeter kan infiltreras utan att det uppstår håligheter, vilket är fullt tillräckligt för husgrunder vars förstärkta kanter sällan är tjockare än 300 millimeter.

För en grundplatta på 100 kvadratmeter möjliggör användning av cementbunden makadam en besparing på 1,9 MWh i form av tillverkningsenergi. När det gäller klimatavtrycket, blir besparingen cirka 2200 kg koldioxidkvivalenter. Med nuvarande prisbild blir en grundplatta med cementbunden makadam cirka 10 procent dyrare än vad som är vanligt idag.

Utöver cementbunden makadam, har även traditionellt tillverkad betong undersökts, dels för att underlätta jämförelser, dels för att öppna för lösningar med traditionellt tillverkad betong med kraftigt sänkt cementshalt.

Utöver husgrunder, kan cementbunden makadam övervägas som lösning i lokaler eller andra byggnader där grundplattan är måttligt belastad.

Projektet har genomförts vid Lunds tekniska högskola, avdelningarna för konstruktionsteknik och byggnadsmaterial, under perioden 2022 – 2024. Projektet har fått aktivt stöd och råd från intresserade aktörer inom byggsektorn. Forsknings- och utvecklingsarbetet har omfattat utveckling av betongrecept och undersökning av egenskaper som påverkar bärförmåga, uttorkning och produktion. I rapportens bilagor finns mer information om undersökningarna och resultaten. Cementbunden makadam har testats i ett pilotprojekt under våren 2024.

Intresserade aktörer – byggherrar, tekniska konsulter, byggtreprenörer och materialtillverkare – är välkomna att kontakta projektledaren Miklós Molnár, LTH Konstruktionsteknik, för mer information.

*Energieffektiv, klimatvänlig, cementbunden makadam, CBM, betong, husgrund, platta på mark*



## Summary

Today's house foundations are built with overcapacity, which means that resources are wasted. By using a technique called pre-set ballast concrete, well-functioning foundation slabs can be built with between 60 - 65 percent less cement than is common today.

Pre-set ballast concrete is a technical solution that involves laying out a layer of coarse aggregate in the desired thickness and then infiltrating the aggregate layer with an easy-flowing mortar. Layers with a thickness of up to 400 millimeters can be infiltrated efficiently, which is sufficient for house foundations whose most loaded parts rarely exceed 300 millimeters in thickness.

For a foundation slab of 100 square meters, the use of pre-set ballast concrete enables a saving of 1.9 MWh in the form of manufacturing energy. In terms of the climate footprint, the saving is approximately 2200 kg carbon dioxide equivalents. With the current price levels, a foundation slab with pre-set ballast concrete will be about 10 percent more expensive than is common today.

In addition to pre-set ballast concrete, traditionally produced concrete has also been investigated, partly to facilitate comparisons and partly to open the way for solutions with traditionally produced concrete with substantially reduced cement content.

In addition to house foundations, pre-set ballast concrete can be considered as a solution in premises or other buildings where the foundation slab is moderately loaded.

The project has been carried out at Lund University, Divisions of Structural Engineering and Building Materials, during the period 2022 – 2024. The project has received active support and advice from interested actors in the construction sector. The research and development work has included the development of concrete recipes and the investigation of properties that affect load bearing capacity, drying of concrete and production. See the appendices to the report for more information on the studies and results. Pre-set ballast concrete has been tested in a pilot project during the spring of 2024.

Interested actors – property developers, technical consultants, construction contractors and material manufacturers – are welcome to contact project manager Miklós Molnár, LTH Structural Engineering, for more information.

*Energy efficient, climate friendly, pre-set ballast concrete, concrete, house foundation, foundation slab*



## INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	BAKGRUND	7
1.2	KUNSKAPSLÄGE	7
1.3	PROJEKTETS SYFTE OCH MÅLSÄTTNINGAR	8
1.4	AVGRÄNSNINGAR	9
1.5	MEDVERKANDE AKTÖRER	9
2	GENOMFÖRANDE	10
3	RESULTAT	11
3.1	BETONGRECEPT	11
3.2	EGENSKAPER HOS HÄRDAD BETONG	11
3.2.1	TRYCKHÅLLFASTHET OCH ELASTICITETSMODUL	11
3.2.2	FÖRANKRINGSKAPACITET	12
3.2.3	KRYMPNING	12
3.3	UTTORKNING	12
3.4	PRODUKTION	13
3.5	ENERGI OCH KLIMAT	13
4	DISKUSSION	15
4.1	HUR MYCKET ENERGI KAN MAN SPARA MED CBM?	15
4.2	KLIMATVINSTER	15
4.3	PRODUKTION OCH KOSTNADER	15
4.4	FORTSATT FORSKNING OCH BEHOV AV UTVECKLING	16
4.5	RESULTATSPRIDNING OCH SAMARBETEN	17
5	PUBLIKATIONSLISTA	18
6	REFERENSER	19
7	BILAGOR	20





# 1 Inledning och bakgrund

## 1.1 Bakgrund

En typisk nybyggd svensk husgrund består av en så kallad platta på mark, det vill säga en platsgjuten betongkonstruktion som vilar på markisolering. Plattans tjocklek brukar vara kring 300 millimeter under de bärande väggarna och 100 millimeter i övrigt. Med dagens praxis när det gäller val av betong, går det åt cirka 3 ton cement, vilket kräver 2,8 MWh energi (IEA 2021).

Tillverkning av cement medför utsläpp av koldioxid – för exemplet med betongplattan cirka 3500 kg koldioxidekvivalenter (IEA 2021). Koldioxiden som släpps ut i samband med cementtillverkning kommer visserligen att tas upp genom betongens karbonatisering men processen är långsam och användning av betong medför, på kort sikt, att utsläppen av koldioxid ökar.

Över tid har svensk praxis utvecklats mot att använda betong med allt högre cementhalt. Användning av mer cement har motiverats med strävan efter kortare byggtider, eftersom mer cement gör att betong torkar snabbare. Med mycket cement blir betong starkare, vilket innebär att det i dagens husgrunder finns en betydande överkapacitet.

Det här betyder att det finns en potential att utveckla grundkonstruktioner med cementsnål betong, förutsatt att de nya lösningarna inte medför uppenbara nackdelar, såsom orimligt långa uttorkningstider eller högre produktionskostnader.

## 1.2 Kunskapsläge

En historisk tillbakablick visar att under perioder med begränsad tillgång till cement användes byggnadstekniska lösningar som krävde mindre betong (Björk med flera 2015) eller betong med lågt cementinnehåll (Rahtu och Kuuskoski 1945). I utvecklingsländer använder man, av kostnadsskäl, betong med väsentligt lägre cementhalter än i rika länder.

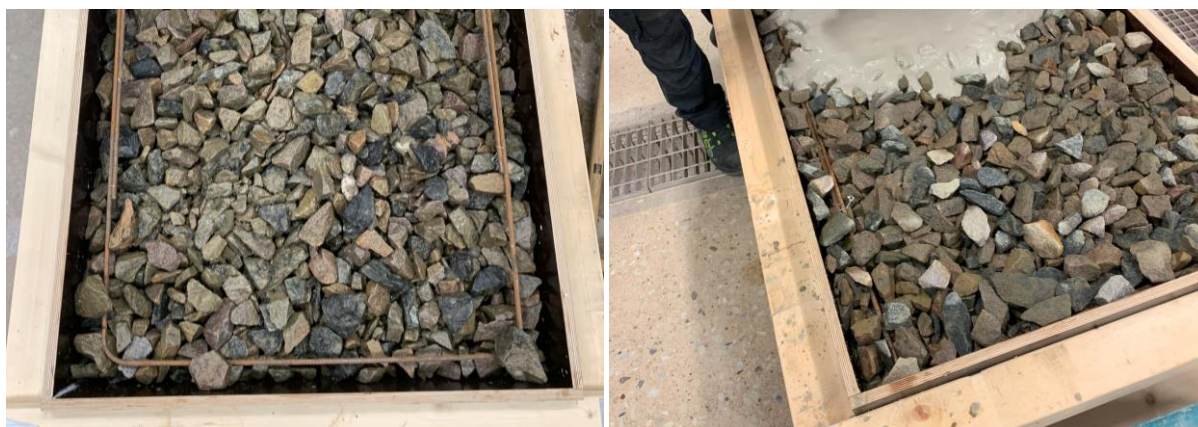
När det gäller traditionellt producerad betong, det vill säga betong där man blandar alla komponenter samtidigt, kan cementinnehållet sänkas från dagens 12 - 14 procent till 5 - 6 procent. En utmaning med låg cementhalt är att betongens arbetbarhet försämras. Borttaget cement bör kompenseras med något annat finkornigt material; normalt krävs även mer vatten (Lim and Zollinger 2003).

En annan betongtyp som har potential vid byggande av grundplattor till hus och mindre lokaler är så kallad cementbunden makadam (CBM), ibland omnämnd som injekterings- eller infiltreringsbetong – på engelska pre-set ballast concrete. Tekniken innebär att ett lager av makadam infiltreras med ett lättflytande bruk, se Figur 1.1. Tekniken används i utvecklingsländer (Kumar and Patil 2006; Cheng et al 2019) och har under efterkrigstiden testats i mindre skala i vägsektorn i Norden (Pettersson och Karlsson 1987). Sänkning av cementinnehållet till 4 - 5 procent bedöms vara möjlig. CBM utgör därför en extra intressant lösning.

För att framgångsrikt kunna introducera CBM till husgrunder, bör ett antal förutsättningar vara uppfyllda:



- Cementbruket för CBM måste vara tillräckligt lättflytande för att kunna tränga igenom ett makadamlager på uppemot 400 millimeter och fylla ut hålvolymen. Denna egenskap är extra viktig, eftersom CBM inte kan vibreras.
- Cementbruket bör kunna placeras ut genom pumpbil eller betongbil med ränna.
- Den nygjutna betongen ska kunna uppnå en erforderlig lägsta hållfasthet även vid låga härdningstemperaturer, vilka ofta förekommer i ett nordiskt klimat.



Figur 1.1 Tillverkning av provkropp av cementbunden makadam. Vänster – blöt grovmakadam; höger – infiltrering med lättflytande bruk. Källa: E. Ryndal och A. Sörmon, 2023.

### 1.3 Projektets syfte och målsättningar

Projektets syfte har varit att minska byggandets energianvändning och klimatavtryck genom användning av mindre cement vid nybyggnation av grunder för enfamiljshus och mindre lokaler. Syftet uppnås genom att främst experimentellt undersöka möjligheterna att använda betongtyper med väsentligt sänkt cementinnehåll. Följande mål har satts upp:

- Utveckla tre alternativa utformningar av husgrund med cementbunden makadam. Lösningarna ska ha minskat användningen av cement med minst 60 procent jämfört med dagens praxis.
- Två grundsnitt för enfamiljshus eller mindre lokalbyggnad med upp till 20 procent bättre energiprestanda i användarfasen jämfört med dagens lösningar.
- De föreslagna lösningarna ska maximalt medföra 20 procent högre produktionstid och kostnad.
- Demonstration av två av lösningarna i labbmiljö genom större demogrunder.

En ytterligare målsättning har varit att undersöka möjligheterna att som ballast använda återvunnet material, såsom betong, tegel, Leca eller puts.





#### 1.4 Avgränsningar

Redan tidigt under projektet har samtal inletts med bygg- och industriaktörer intresserade av energi- och klimatvänligt byggande avseende olika utvecklingsvägar för att uppnå projektets målsättningar. Dessa samtal har varit till stor hjälp för att hitta konkreta lösningar på materialtekniska frågor.

Samtalen med byggaktörer har vidare visat att det finns stort intresse för att, utöver grundplattor med CBM, även undersöka möjligheterna att bygga grundplattor med traditionellt producerad betong, med kraftigt reducerad cementhalt. Denna tanke togs tillvara och undersöktes som ett sidospår.

Genomgående inom projektet användes byggcement typ 2, bestående av Portlandkalkstencement. Bedömningen från betongexperter är att miljöförbättrad cement, där en del av Portlandkalkstencementet ersatts med slagg och flygaska inte nämnvärt hade påverkat projektets resultat – samtidigt som klimatavtrycket ytterligare skulle förbättrats. De här alternativen har dock inte undersökts i projektet.

När det gäller demonstration av grundplatta med CBM, har konkret intresse dykt upp om dess användning i ett skarpt projekt – en grund på cirka 40 kvadratmeter till utomhuskonstverk vid Skånes universitetssjukhus i Malmö (Rosa Torget). Som förberedelse, två mindre provgrunder tillverkades i labbet och en demogjutning genomfördes i närvaro av byggentreprenören Skanska. Tillverkningen av injekteringsbruket gick igenom med betongleverantören Sydsten. Grunden gjöts i april 2024. Tillverkning av större demogrunder bedömdes därför som överflödig.

Ytterligare demonstration i skarpt husbyggnadsprojekt i Lund var planerat genom Jakobsson Pusterla arkitekter men beställaren valde till slut att gå fram med en annan lösning.

#### 1.5 Medverkande aktörer

Projektet har genomförts av forskare vid Lunds tekniska högskola (LTH), avdelningarna för konstruktionsteknik och byggnadsmaterial, med aktivt stöd från aktörer inom bygg- och materialindustrin. Dessutom genomfördes två examensarbeten och ett kandidatarbete pågår, alla med kopplingar till projektet.

LTH. Konstruktionsteknik: Miklós Molnár (projektledare), Martin Gunder och Per-Olof Rosenkvist. Byggnadsmaterial: David Wahlbom (numera WSP), Stefan Backe, och Peter Johansson. Studenter: Victor Andersson, Samuel Nilsson, Elin Ryndal, Alice Sörmon, Axel Andersson och Elias Jonasson

Följande företag och personer har visat aktivt intresse och bidragit till projektet: Marco Pusterla, Jakobsson Pusterla arkitekter; Christian Ranevi, Tyréns; Johan Stenberg, Sweco; Tomas Gustavsson, TG konstruktioner; Peter Åkerblom, Tomas Nyberg och Conny Engström, Nordkalk (Nordkalk har kostnadsfritt försett projektet med kalkstensmjöl); Rickard Bergeryd, Hilti; Martin Heinegård, Johan Haväng, Jörgen Hegdal och Linn Landgren, Skanska; Peter Weywadt, Sydsten; Johan Jönsson, Finja Betong (numera AFRY).

Projektet tackar alla studenter och industriaktörer för deras hjälp och intresse.



## 2 Genomförande

Projektets huvudspår var att experimentellt utveckla fungerande lösningar till cementsnåla grunder och klarlägga viktiga egenskaper och aspekter som kan underlätta lösningarnas användning. Även om industriaktörer inte formellt var parter i projektet, har ett kontinuerligt samtal förts med material- och produktionsexperter, för att på ett tidigt stadium hitta lösningar och undvika fällor.

**Utveckling av betongrecept** har utgjort en central del av projektet. Idéer har inhämtats genom en bred internationell kunskapsöversikt och samtal med materialexperter inom betong- och murverksområdet. Uppemot 40 olika betongrecept utvärderades praktiskt i LTH:s betonglabb. Möjligheterna att använda **återvunnet** krossat tegel som alternativ till makadam av natursten har undersökts.

Ett antal **viktiga materialegenskaper** har undersökts experimentellt enligt följande:

- Tryckhållfasthet och elasticitetsmodul, två egenskaper som påverkar grundens bärförmåga.
- Utveckling av tryckhållfastheten som funktion av betongens ålder (efter 1, 3, 7, 28 och 56 dygn) och härdningstemperatur (10 respektive 20 grader). Egenskapen påverkar möjligheterna att bygga vid låga temperaturer.
- Förankringskapacitet, genom utdragningsförsök på skruvar respektive böjbelastning av balkar. Egenskapen är viktig för att lätta väggar ska kunna förankras mot grunden.
- Krympning, en egenskap som påverkar behovet av sprickarmering.
- Uttorkningsegenskaper, omfattande fukttinnehåll vid olika luftfuktighet (sorptionskurvor) samt uttorkningens tidsförlopp, egenskaper som är viktiga för planering av byggproduktionen.

Två mindre **demogrunder** har tillverkats och har visats för intresserade aktörer från materialindustri och konsultföretag. **Provgjutningar** har gjorts i labbmiljö för inbjudna entreprenörer. Cementbunden makadam som grund har testats i ett **skarpt projekt**.

**Analys** har genomförts avseende de studerade betonglösningarnas energianvändning och klimatavtryck. När det gäller produktions- och kostnadsaspekter, **intervjuer** har gjorts med materialexperter och anläggningsentreprenörer för att identifiera eventuella produktionstekniska problem och uppskatta merkostnader.

**Informationsspridning** har skett genom möten med industrinätverk, företag och akademi. Publicering har skett i form av en populärvetenskaplig artikel och två examensarbetsrapporter.



## 3 Resultat

### 3.1 Betongrecept

Fyra recept har utvecklats för att tillverka CBM med ballast av natursten. Två typer av naturstensballast har studerats. I ena fallet har grovkornig ballast av typen järnvägsmakadam med stenstorlek mellan 32 – 63 millimeter använts. Lager med en tjocklek på 400 millimeter har kunnat infiltreras på ett effektivt sätt med lättflytande bruk bestående av cement, kalkstensmjöl, sand, vatten och flytförbättrande tillsats.

I andra fallet har en något finkornigare makadam med stenstorlek mellan 16 – 32 millimeter använts. Den finkornigare makadamen lämpar sig till lager som är upp till 200 millimeter tjocka. Skillnaden mellan den grövre och den finkornigare makadamen är att den förra ger större hålrum, vilket gör att bruket har lättare att tränga igenom. I båda fallen bör makadamen vara tvättad och blöt när infiltreringen görs.

När det gäller bruk till CBM, har två recept utvecklats; ett för vardera tvättad och otvättad sand. Recepten visas i Bilaga A. I samma bilaga visas även recept på traditionellt blandad betong med sänkt cementhalt (LCB). Cementinnehållet i betong av typen CBM har reducerats till 4,5 procent, motsvarande 110 kg cement per kubikmeter färdig betong. Jämfört med betong som idag normalt används till grunder av typen platta på mark, innehåller den utvecklade CBM-lösningen drygt 60 % mindre cement.

Resultat erhållna när det gäller möjligheter att använda rivningstegel som ballast i CBM finns i examensarbetet "Småhusgrunder med cementbundet rivningstegel", se Andersson och Nilsson 2022.

### 3.2 Egenskaper hos härdad betong

#### 3.2.1 Tryckhållfasthet och elasticitetsmodul

Tryckhållfasthet är en av de viktigaste mekaniska egenskaperna som påverkar funktionen hos en grundkonstruktion av typen platta på mark. Det handlar dels om plattans bärförmåga, dels om kapaciteten som krävs för att förankra byggnaden mot lyft. Den senare är extra viktig när man har en lätt stomme.

Tryckhållfasthetens karakteristiska värde hos CBM med recept enligt Tabell A.1 (tvättad sand) är cirka 8,5 MPa. Påkänningar av last på grundkonstruktioner av typen platta på mark är normalt en storleksordning lägre, vilket pekar på att CBM kan utgöra en intressant lösning för den här typen av konstruktioner.

I Bilaga B visas hållfasthetsvärden för både CBM och traditionellt blandad betong, bland annat avseende hållfasthetsutveckling som funktion av härdningstid och omgivande temperatur. I samma bilaga visas även värden på elasticitetsmoduler för CBM samt traditionellt blandad betong med sänkt cementhalt (LCB).



### 3.2.2 Förankringskapacitet

Förankringskapacitet undersöktes inom ramen för ett examensarbete av E. Ryndal och A. Sörmon 2023. För att underlätta jämförelser, har tre betongtyper undersökts – CBM, traditionellt blandad betong med sänkt cementshalt (LCB) respektive en betong som idag ofta används vid gjutning av grunder av typen platta på mark (C20). Två delstudier genomfördes – en på dragkapacitet hos betongskruvar och en på vidhäftningskapacitet hos armering i balkar.

**Dragkapacitet.** Betongskruvar med längden 70, 90 respektive 100 mm förankrades i betongplattor med tjockleken 300 mm. Den här situationen efterliknar förhållanden som förekommer vid förankring av lätta väggar mot en betongplatta med förstärkta kanter.

Vanligaste brottmoden var så kallat konbrott, vilket innebär att en konformad betongbit bröts ut ur plattan. Näst vanligast var utdragsbrott, vilket betyder att skruven drogs ut ur plattan längs borrhålet. Det finns ett tydligt samband mellan förankringskapaciteten och förankringslängden respektive betongens tryckhållfasthet, efter principen ju större förankringslängd och större tryckhållfasthet, desto högre förankringskapacitet. Grundplattor av CBM erbjuder tillräcklig förankringskapacitet för hus med lätt stomme.

**Vidhäftningskapaciteten** hos armering undersöktes genom balkförsök, där balkarna tillverkades med betong av typen CBM, LCB och C20. I alla fallen kunde man utnyttja armeringens fulla drag- och deformationskapacitet. Resultaten tyder på att armeringens kapacitet kan utan problem utnyttjas när grundkonstruktioner av typen platta på mark byggs med betong med sänkt cementshalt.

Fler detaljer kring undersökningarnas genomförande och fler resultat finns i Bilaga C samt i examensarbetet av E. Ryndal och A. Sörmon 2023.

### 3.2.3 Krympning

Krympbenägenheten hos betong av typen CBM, LCB och C20 undersöktes genom att mäta längdförändringen hos betongprismor när dessa härdade och torkade i laboratoriemiljö. Betong av typen CBM uppvisar cirka 50 % lägre krympning än traditionellt blandad betong av typen C20. Krympningen för betong av typen LCB var någonstans mitt emellan den för CBM och C20. Fler detaljer kring undersökningen, bland annat krympningens tidsförlopp, finns i Bilaga D.

### 3.3 Uttorkning

Uttorkningsegenskaper hos betong av typen CBM, LCB och C20 studerades på både betong och bruk, där det senare består av cement, filler (i förekommande fall), sand, vatten och flyttillsats. Provkroppar av bruk utgörs därför av en massa som består av finare korn än betong, vilket underlättar tillverkning av tunna provkroppar. Att studera uttorkning på tunna provkroppar av bruk tar mycket kortare tid än motsvarande studier på tjockare provkroppar. Resultat som tas fram genom studier av uttorkning av bruk går att använda till uppskattning av uttorkning hos betong.

När dubbelsidig uttorkning av betongprismor med tjockleken 100 mm studerades i laboratoriemiljö, registrerades snabbast uttorkning hos betong LCB, följt av CBM och C20. Uttorkning till en fuktkvot motsvarande 85 % relativ fuktighet tog cirka 11 veckor för betong LCB och 15 – 16 veckor för CBM och C20. Motsvarande uttorkningstider för härdad betong gick något fortare.

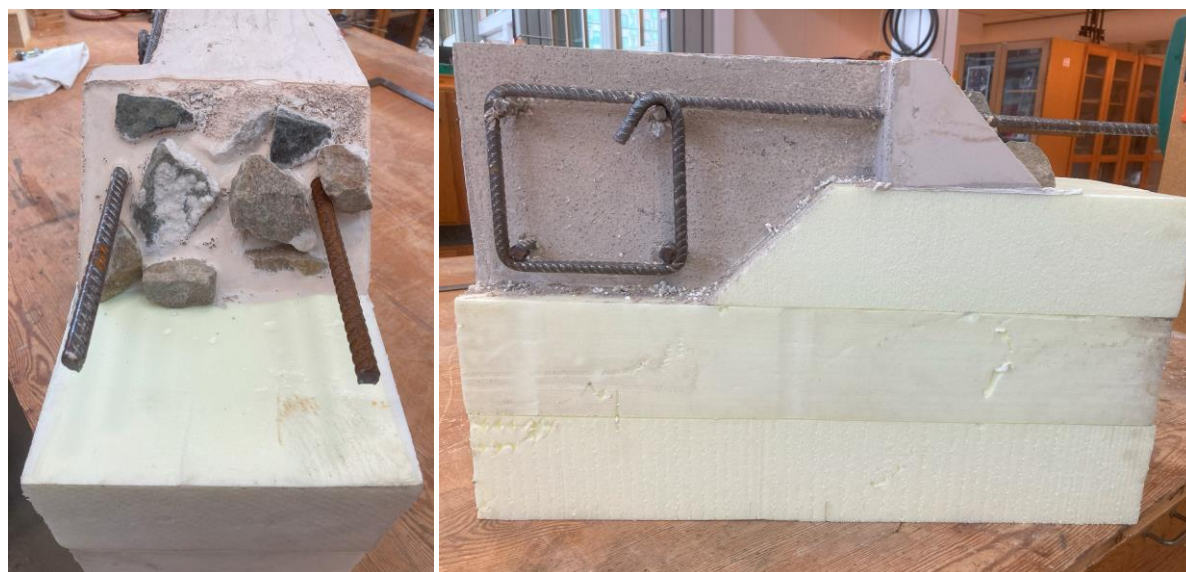




Uttorkning av betong i en grundplatta med tjockleken 100 mm sker cirka två och en halv gånger långsammare än i prismor med motsvarande tjocklek, eftersom en grundplatta bara kan avge fukt genom ytan som är exponerad mot rummet. Fler resultat och detaljer kring mätningarna finns i Bilaga E.

### 3.4 Produktion

Två förenklade sektioner av husgrund med CBM gjutna i labbmiljö visas i Figur 3.1. Skillnaden mot en verklig husgrund är att den senare hade byggts med någon typ av kantelement, detta för att undvika värmeläckage längs plattans kant. CBM testades praktiskt i ett skarpt projekt, där man byggde ett fundament till ett tegelkonstverk, se Figur 3.2.



Figur 3.1 Grundschnitt med CMB, makadam stenstorlek 32 – 63 millimeter.

När det gäller produktionskostnader, har entreprenören uppskattat att CBM kostar cirka 10 % mer än traditionellt blandad betong. Fördyrningen orsakas att det tillkommer ett extra arbetsmoment, då makadamen ska läggas ut i förväg och jämnas av till önskad tjocklek. Makadam med stenstorlek mellan 16 - 32 mm bedöms vara något lättare att hantera, och därmed billigare, än makadam med stenstorlek mellan 32 – 63 mm.

### 3.5 Energi och klimat

Cementbunden makadam (CBM) möjliggör en sänkning av cementhalten i betong med cirka 65 % (från 320 kg/m<sup>3</sup> i betong C20, till 110 kg/m<sup>3</sup> i CBM). Besparingen i cement måste å andra sidan kompenseras av kalkstensmjöl, vilket gör att besparingen i tillverkningsenergi för en platta på mark landar på drygt





50 procent. För en platta på mark med tjockleken 100 mm och förstärkta kanter på 300 mm, medför användning av CBM en energibesparing på 1,9 MWh.

Klimatavtrycket för CBM och betong C20 har beräknats till 102 respektive 279 kilogram koldioxidekvivalenter per kubikmeter ( $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^3$ ). För cement användes Boverkets Klimatdatabas medan för kalkstensmjöl den norska klimatdatabasen EPD-Norge 2024. För sand och makadam har värden från NCC Industry Nordic (2019) använts. För en platta på mark enligt ovan blir besparingen med CBM cirka 2200  $\text{kgCO}_2\text{e}$ . Detaljer kring beräkningen visas i Bilaga F.



Figur 3.2 Grund av cementbunden makadam till tegelkonstverk, Malmö, april 2024. Vänster – makadamlager i en tjocklek av 180 millimeter; höger – infiltrering med lättflytande bruk. Beställare, Region Skåne; konstruktör, Christian Ranevi, Tyréns; markentreprenör, Johan Haväng, Jörgen Hegdal och Linn Landgren, Skanska; materialexpert, Peter Weywadt, Sydsten.



## 4 Diskussion

### 4.1 Hur mycket energi kan man spara med CBM?

För en typisk husgrund på 100 kvadratmeter uppskattas användning av CBM i stället för en traditionell betong av kvalitet C20 medföra en besparing avseende tillverkningsenergi på cirka 1,9 MWh, vilket motsvarar en sänkning på drygt 50 procent.

Ytterligare cirka 10 procent tillverkningsenergi kan sparas genom tunnare kantförstärkningar och mindre eller helt utelämnad sprickarmering. Den senare möjliggörs av att CBM krymper hälften så mycket som traditionell betong. Sammantaget, kan användning av CBM i stället för traditionell betong av kvalitet C20 minska användningen av tillverkningsenergi med mellan 55 och 60 procent.

Energianvändningen under bruksfasen påverkas av den termiska isoleringen under plattan och längs dess kanter. Kantelement med köldbryggebrytare och cellplast med förbättrad isolerförmåga kan användas i kombination med CBM, precis som med traditionell betong.

### 4.2 Klimatvinster

För en typisk husgrund på 100 kvadratmeter uppskattas användning av CBM i stället för en traditionell betong av kvalitet C20 medföra en minskning av klimatavtrycket med cirka 2200 kgCO<sub>2</sub>e, dvs. en minskning på drygt 60 procent. Uppskattningen bygger på ett konservativt antagande avseende betongens klimatavtryck (Boverket 2024). Med tanke på att det pågår mycket utvecklingsarbete för att öka inblandningen av alternativa bindemedel i cement, förväntas klimatavtrycket hos CBM att successivt förbättras. Motsvarande förbättringar kommer naturligtvis att gynna även traditionell betong.

Ytterligare förbättringar av klimatavtrycket är möjliga genom: a) tunnare kantförstärkningar och utelämnad sprickarmering; b) minskning av grundplattornas tjocklek från 100 till 80 mm; c) sänkning av injekteringsbrukets cementhalt från dagens 110 kg/m<sup>3</sup> till mellan 80 och 90 kg/m<sup>3</sup>. Åtgärd a) kan implementeras redan idag medan åtgärd b) och c) behöver utredas.

Återvunnen betong och rivningstegel är möjliga alternativ till naturstensballast. Vid ersättningsnivåer på upp till 20 procent påverkas egenskaperna hos CBM i obetydlig omfattning. I dagsläget medför dock användning av återvunnen ballast ett försämrat klimatavtryck, främst beroende på att bearbetningen av återvunnen betong och rivningstegel kräver mer energi än framställning av naturstensballast.

### 4.3 Produktion och kostnader

Produktion av husgrunder med CBM skiljer sig till vissa delar från den traditionella lösningen med färdigblandad betong.

Efter utplacering av markisoleringen och installationerna ska makadamen läggas ut, innan infiltrering med ett lättflytande bruk kan ske. För att få en jämn överyta på den färdiga grundplattan, bör tjockleken på makadamlagret vara cirka en centimeter mindre än för grundplattan. Det är lättare att lägga ut och jämna av makadam med stenstorlek 16 – 32 mm än 32 – 63 mm. Makadamen ska vara tvättad och blöt i samband med infiltrering.



Bruket ska vara lättflytande, med utbredningsmått enligt Bilaga A, och det ska läggas ut koncentrerat till ett avgränsat område. Då skapas ett kortvarigt hydrostatiskt tryck som driver igenom bruket, vilket leder till en effektiv infiltrering, hela vägen till botten av makadamlagret. Vid användning av kantelement bör elementskarvarna tätas för att förhindra läckage. Viss avjämning av överytan kan behövas, eftersom enstaka makadambitar kan förflyttas vid pumpningen av bruket.

Vid dygnsmedeltemperaturer under tio grader, bör åtgärder vidtas för att säkerställa betongens härdning. Om dygnsmedeltemperaturen ligger mellan fem och tio grader, lär övertäckning vara tillräcklig, eftersom det alstras viss värme (hydratationsvärme) när cementet reagerar med vattnet. Vid lägre dygnsmedeltemperaturer bör övertäckning kombineras med värmning. Gjutning över frusen stenbädd ska undvikas. De tre första dygnen efter gjutningen är de mest kritiska, eftersom cirka 70 procent av hållfastheten utvecklas under just den här perioden, se även Bilaga B.

Uttorkning av CBM-grunder sker i två steg, efter samma principiella förlopp som hos traditionell betong. Under första steget transporteras fukt till ytan genom kapillär drivkraft, vilket ger en förhållandevis snabb uttorkning. Återstående fukt torkar ut genom ångtransport, vilket sker väsentligt långsammare.

Uttorkning till ett fukttinnehåll motsvarande 85 procent relativ fuktighet, ett ofta använt referensvärde i byggsammanhang, sker i stort sett samma takt hos CBM och betong C20. I inommiljö med 20 grader och relativ fuktighet på 60 procent, uppskattas uttorkningen för en 100 mm tjock grundplatta av CBM eller C20 ta mellan sex och sju månader. Uttorkningstiden kan kortas genom avfuktning av inomhusluften och värmning av grundplattan.

Med dagens prisbild uppskattas merkostnaden för en grundplatta av CBM till cirka tio procent. Kostnadsökningen hänförs till hantering av makadamlagret och behovet av eventuellt skydd mot låga temperaturer. Omställning till klimatförbättrat cement förväntas medföra stora prisökningar, vilket kommer att gynna betong med låg bindemedelshalt, såsom CBM.

#### 4.4 Fortsatt forskning och behov av utveckling

Konstruktioner av typen platta på mark erbjuder en skyddad miljö för betong, eftersom ingen tillförsel av ny fukt förväntas ske. Om grundplattan byggs med isolerande kantelement eller muras med lättklinkerblock, kommer även risken för frostangrepp att minimeras. Dessa gynnsamma förutsättningar öppnar för ytterligare sänkning av bindemedelshalten, både i CBM och traditionellt blandad betong (LCB).

Användning av CBM i konstruktioner utsatta för frost och fukt, såsom i tyngre infrastruktur, kräver fler studier. Utveckling av lättflytande injekteringsbruk med lägre vattenhalt än den som kom till användning i det här projektet är också av intresse. CBM med minskad vattenhalt kan förkorta uttorkningstiden i grundplattor.

Husgrunder utsätts normalt för låga laster och golvbeläggningen skyddar överytan från direkt slitage. För att kunna använda CBM utanför småhussektorn, till exempel för att bygga golv till kommersiella lokaler eller industrier, måste CBM-betongens slitstyrka utvärderas. Vid låg slitstyrka skulle CBM kunna kombineras med övergjutning med en mer slitstark betong/golvmassa.





CBM och traditionellt blandad betong med sänkt bindemedelshalt (LCB) kan vidare vara av intresse vid byggande av bjälklag och väggar i flerbostadshus och uppvärmda lokaler. Med tanke på byggnadsvolymer i nämnda segment, skulle en användning av CBM bidra till ännu större besparingar i energi och minskning av byggsektorns klimatavtryck. En ansökan till fortsättningsprojekt som under hösten 2023 fick inget bifall men nya försök kommer att göras när lämpliga utlysningar dyker upp i framtiden.

#### 4.5 Resultatspridning och samarbeten

Spridning av projektets resultat har så här långt skett genom publicering av en populärvetenskaplig artikel, två examensarbeten samt föreläsningar och direkta samtal med arkitekter, konstruktörer, byggtreprenörer och materialleverantörer.

Direkta samtal med branschrepresentanter känns extra angeläget, eftersom CBM uppfattas som en obeprövad lösning. Informationsinsatser planeras för att nå ut till intresseorganisationer och nätverk intresserade av energieffektivt och klimatvänligt byggande, såsom Energimyndighetens nätverk BeSmå, BeLok och BeBo.

För mer information uppmanas intresserade aktörer att höra av sig till projektledare Miklós Molnár, LTH Konstruktionsteknik, [miklos.molnar@kstr.lth.se](mailto:miklos.molnar@kstr.lth.se).



## 5 Publikationslista

V. Andersson och S. Nilsson - Småhusgrund med cementbundet rivningstegel. Examensarbete, Rapport TVBK-5288, Lunds tekniska högskola, 2022.

M. Molnár, D. Wahlbom, A. Sörmon, E. Ryndahl, - Betong med minskad bindemedelshalt till husgrunder. Husbyggaren, nummer 2, sidan 12 - 16, 2024.

E. Ryndal och A. Sörmon - Förankringskapacitet i cementsnåla småhusgrunder. Examensarbete, Rapport TVBK-5294, Lunds tekniska högskola, 2023.





## 6 Referenser

C. Björk med flera - Så byggdes villan. Svensk villaarkitektur från 1890 till 2010. Utgåva 2. Svensk Byggtjänst, ISBN 9789173336895, 2015.

Boverkets klimatdatabas 2024. <https://klimatdatabasen.boverket.se/>, besökt 2024-06-17.

J. Cheng et al - Cement-Lime-Fly Ash Bound Macadam Pavement Base Material with Enhanced Early-Age Strength and Suppressed Drying Shrinkage via Incorporation of Slag and Gypsum. *Advances in Civil Engineering*, Vol 2019 (2019).

EPD-Norge. Filler kalkstein Verdal – Environmental product declaration. <https://www.epd-norge.no/epder/bygg/asfalt-og-pukk/filler-kalkstein-verdal-1>, besökt 2024-06-17.

International Energy Agency (IEA) – Cement. <https://www.iea.org/reports/cement>. Besökt 2021-09-12.

S. Kumar and C.B. Patil - Estimation of resource savings due to fly ash utilization in road construction. *Resources, Conservation and Recycling* 48 (2006) 125–140.

S. Lim, D.G. Zollinger – Estimation of compressive Strength and modulus of elasticity of Cement-Treated aggregate base Materials. *Transportation Research Record*, 1837, pp 30-38, DOI: 10.3141/1837-04, 2003.

Ö. Petersson och B. Karlsson - Försök med cementbunden makadam (CBM). *VTI Meddelande* 523, ISSN 0347-6049, 1987.

H. Rahtu, V. Kuuskoski - Undersökning av sparbetong. *Statens tekniska forskningsanstalt. Meddelande Nummer* 28, ISSN 0372-6878, 1945.



## 7 Bilagor

### Bilaga A Betongrecept

I Tabell A.1 visas två recept till infiltreringsbruk för cementbunden makadam (CBM). Observera att i CBM utgör makadamen cirka 45 % av betongens volym, medan resterande 55 % utgörs av infiltreringsbruket.

Tabell A.1 Recept till infiltreringsbruk för cementbunden makadam. CBM-bruk 1 är för otvättad, CBM-bruk 2 för tvättad sand.

Material	CBM-bruk 1 (kg/m <sup>3</sup> )	CBM-bruk 2 (kg/m <sup>3</sup> )
Byggcement typ Cementa Skövde	200	200
Filler av kalkstensmjöl av typen Limus 15 från Nordkalk	500	680
Otvättad sand 0 - 2 mm	1243	-
Tvättad sand 0 - 2 mm	-	1121
Vatten	286	286
Flyttillsats ViscoCrete 6730	4,00	4,00
<b>Totalt</b>	<b>2233</b>	<b>2290</b>

För effektiv infiltrering, bör CBM-brukets utbredningsmått bestämd enligt SS-EN 12350-5 vara minst 900 mm (eller minst 170 mm om utbredningsmättet bestäms enligt cylindermetoden i SS-EN 445:2007). Av samma anledning bör makadamen vara tvättad och blöt när infiltreringen görs. Med recept enligt Tabell A.1 har makadamlager med upp till 400 mm (grovmakadam 32 – 63 mm) respektive 200 mm (makadam 16 – 32 mm) tjocklek infiltrerats. Sandens fukthalt varierade mellan 3,5 – 4,0 %.

I Tabell A.2 visas recept till traditionellt blandad betong, där C20 är en betong som ofta används i småhusgrunder av typen platta på mark medan LCB är en betong med sänkt cementshalt. I Tabell A.3 visas recept på bruk med sänkt cementshalt för traditionell betong. Observera att bruken innehåller bara findelen av betongen, dvs. cement, filler av kalkstensmjöl, sand, vatten och flyttillsats.



Tabell A.2 Recept till traditionellt blandad betong av typen C20 och LCB.

Material	Betong C20 (kg/m <sup>3</sup> )	Betong LCB (kg/m <sup>3</sup> )
Byggcement typ Cementsa Skövde	336	175
Filler av kalkstensmjöl av typen Limus 15 från Nordkalk	-	337
Tvättad sand 0 - 2 mm	845	715
Tvättad makadam 8 - 11 mm	1028	914
Vatten	201	225
Flyttillsats ViscoCrete 6730	1,01	1,58
<b>Totalt</b>	<b>~2411</b>	<b>~2368</b>

Tabell A.3 Recept till bruk till traditionellt blandad betong med sänkt cementhalt (LCB). Observera att recept till bruk LCB1 motsvarar LCB - betong enligt Tabell A.2.

Material	LCB1-bruk (kg/m <sup>3</sup> )	LCB2-bruk (kg/m <sup>3</sup> )	LCB3-bruk (kg/m <sup>3</sup> )
Byggcement typ Cementsa Skövde	319	162	138
Filler av kalkstensmjöl av typen Limus 15 från Nordkalk	547	697	713
Tvättad sand 0 - 2 mm	1150	1183	1183
Vatten	319	269	265
Flyttillsats ViscoCrete 6730	2,86	2,50	3,70
<b>Totalt</b>	<b>~2338</b>	<b>~2314</b>	<b>~2303</b>

## Bilaga B Tryckhållfasthet och elasticitetsmodul

Tryckhållfastheten har bestämts på kuber med sidlängden 200 mm för CBM och 150 mm för traditionellt blandad betong med recept enligt Tabell A.2. Den senare typen av betong betecknas i fortsättningen som LCB. Tryckhållfastheten har bestämts 1, 3, 7, 28 och 56 dygn efter gjutningen, på torrlagrade kuber. Den omgivande temperaturens effekt på tryckhållfastheten undersöktes genom att kuber tillverkades med ingredienser som höll en temperatur på 10 respektive 20 grader; även härdningen skedde vid nämnda temperaturer.

Fyra provkroppar har testats för varje enskild kombination. Inom ramen för ett examensarbete av E. Ryndal och A. Sörmon, har även tryckhållfastheten hos en traditionellt blandad betong med högre cementhalt bestämts. Den här betongen hade en tryckhållfasthet på 28,4 MPa (medelvärde). Betongen betecknas i fortsättningen C20 (C25/30 i examensarbetet).



Tabell B.1 Tryckhållfasthet för betong CBM – tillverkning/lagring vid 10 respektive 20 grader. Medelvärden för kuber med sidlängden 200 mm (variationskoefficient i procent), härdningstid i dygn. Provkropparna fick självtorka inslagna i plast.

	Betong CBM – tryckhållfasthet i MPa (variationskoefficient i %)				
Temperatur (°C)	1 dygn	3 dygn	7 dygn	28 dygn	56 dygn
10	2,4 (7,2)	8,0 (3,9)	9,9 (6,4)	11,5 (7,4)	15,2 (5,2)
20	5,5 (7,0)	8,3 (2,7)	9,0 (8,0)	11,9 (4,1)	13,1 (4,1)

Tabell B.2 Tryckhållfasthet LCB – tillverkning/lagring vid 10 respektive 20 grader. Medelvärden för kuber med sidlängden 150 mm (variationskoefficient i procent), härdningstid i dygn. Provkropparna fick självtorka inslagna i plast.

	Betong LCB – tryckhållfasthet i MPa (variationskoefficient i %)				
Temperatur (°C)	1 dygn	3 dygn	7 dygn	28 dygn	56 dygn
10	2,5 (4,8)	6,3 (1,2)	10,0 (5,0)	11,0 (2,9)	17,0 (2,7)
20	4,9 (1,1)	8,4 (3,1)	9,6 (4,2)	12,1 (3,8)	14,8 (2,2)

Elasticitetsmodulen bestämdes genom provtryckning av kuber vid en ålder av 28 dygn, härdning genom självtorkning i 20 grader. Provkropparna var desamma som vid bestämning av tryckhållfasthet vid en ålder av 28 dygn, se Tabellerna B.1 och B.2. Resultaten redovisas som sekantmoduler vid lastnivåer motsvarande 30 respektive 60 % av tryckhållfastheten ( $E_{0,3}$  respektive  $E_{0,6}$ ).

Tabell B.3 Elasticitetsmodul (GPa) för betong CBM och LCB. Själtorkade kuber i 20 grader, vid en ålder av 28 dygn.

Betongtyp	$E_{0,3}$ i GPa (variationskoefficient i %)	$E_{0,6}$ i GPa (variationskoefficient i %)
CBM	8,1 (43,1)	4,3 (14,0)
LCB	17,6 (12,8)	7,8 (9,5)

## Bilaga C Förankringskapacitet

### Dragkapacitet i skruvförankringar (E. Ryndal och A. Sörmon 2023)

Tre plattor med måtten längd\*bredd\*tjocklek 1200\*800\*300 mm gjöts med tre betongtyper – CBM, LCB och C20, se tidigare förklaring avseende beteckningar. Plattorna försågs med en sammanhållande kantarmering. Förankringskapaciteten undersöktes när betongen hade härdat 28 - 35 dygn under plastfolie.



Skruvorna av typen HILTI HUS4-H 10 förankrades i förborrade hål med diametern 10 mm. Avståndet mellan skruvarna var 240 mm medan det kortaste avståndet till plattans kant var 120 mm. Skruvar med längden 70, 90 och 100 mm användes. Fem skruvar undersöktes för varje kombination. Utdragsproven genomfördes med hydraulisk dragapparat från HILTI. Resultaten sammanfattas i Tabell C.1

Tabell C.1 Förankringskapacitet i dragbelastning (medelvärden i kN) för skruvar av typen HILTI HUS4-H 10. Betong av typen CBM, LCB och C20. Skruvlängd 70, 90 och 100 mm, med effektivt förankringsdjup ( $h_{ef}$ ) på 43, 60 och 68 mm. Källa E. Ryndahl och A. Sörmon 2023.

Betong	Tryckhållfasthet (medelvärde i MPa)	Förankringskapacitet i dragbelastning (kN) (variationskoefficient i %)		
		$h_{ef} = 43$ mm	$h_{ef} = 60$ mm	$h_{ef} = 68$ mm
CBM	11,9	18,4 (21,4)	15,8 (20,6)	10,4 (9,8)
LCB	12,1	28,4 (6,5)	23,4 (16,8)	14,8 (6,6)
C20	28,4	44,6 (8,7)	35,6 (8,4)	20,2 (4,9)

### Vidhäftningskapacitet hos armering (E. Ryndal och A. Sörmon)

Inom ramen för examensarbetet av E. Ryndal och A. Sörmon 2023 undersöktes huruvida förankringskapaciteten hos böjbelastad armering påverkas av lägre cementshalt i betongen. Tre balkar av vardera CBM, LCB och C20 tillverkades med böjarmering som skulle leda till dragbrott – balkarna var normalarmerade. Balkarna belastades till brott genom så kallad fyrpunktböjning, under konstant deformation. Brottet blev segt för varje balk, vilket tyder på att armeringens drag- och deformationskapacitet utnyttjades utan några tecken på vidhäftningsbrott.

## Bilaga D Krympning

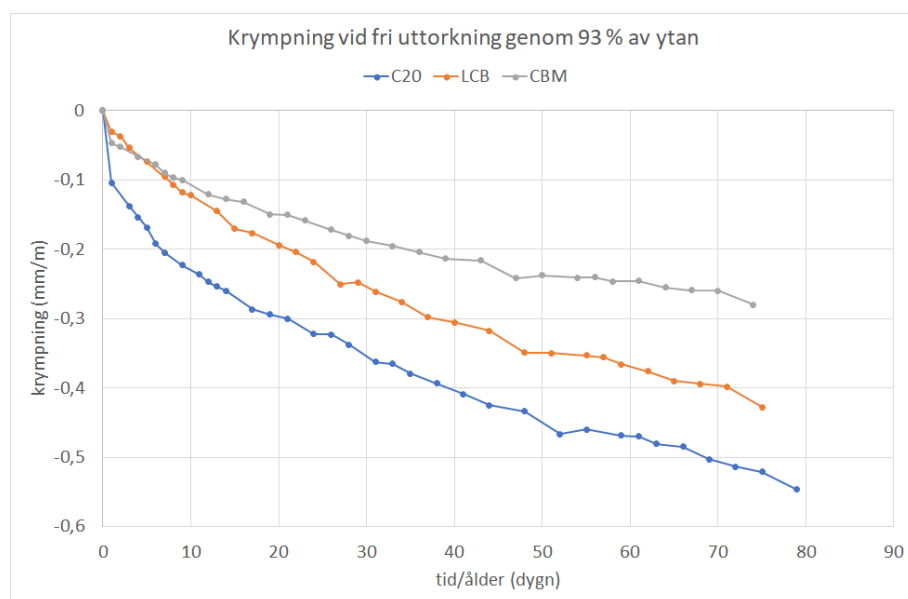
Krympbenägenheten hos betong av typen CBM, LCB och C20 undersöktes genom att mäta förändringen i längd hos betongprismor med måtten längd\*bredd\*tjocklek 400\*200\*100 mm. Betongprismorna fick härda och självtorka i laboratoriemiljö. Betongprismorna stod på högkant, vilket innebär att uttorkning kunde ske genom 93 % av ytan.

Förändringar i längd mättes kontinuerligt med induktiva lägesgivare (LVDT) under 74 till 79 dygn, på fyra prismor av vardera betongtyp. Temperaturen under mätperioden varierade mellan 22 och 18 grader medan den relativa fuktigheten mellan 63 och 24 procent, med en över tid sjunkande, årstidrelaterad trend (mätperiod september - november). Mätningarna fick avbrytas innan betongen hann krympa färdigt på grund av tekniska problem. När mätningarna avbröts, beräknas fuktkvoten i betongprismorna av typen CBM och C20 varit mellan 85 – 90 %. Motsvarande fuktkvot i betongprismorna LCB uppskattas ha varit mellan 80 – 85 %. Krympningens slutvärde vid jämvikt med





relativ fuktighet 80 % uppskattas vara 0,35 – 0,40 mm/m för betong CBM, 0,45 – 0,50 mm/m för betong LCB och 0,7 – 0,80 mm/m för betong C20. I Figur D.1 visas medelvärdet av krympningens tidsförlopp.



Figur D.1 Krympning som funktion av uttorkningstid (medelvärden i mm/m). Uttorkning i labbmiljö. Temperaturen varierade mellan 18 – 22 grader medan den relativa fuktigheten mellan 24 – 63 %.

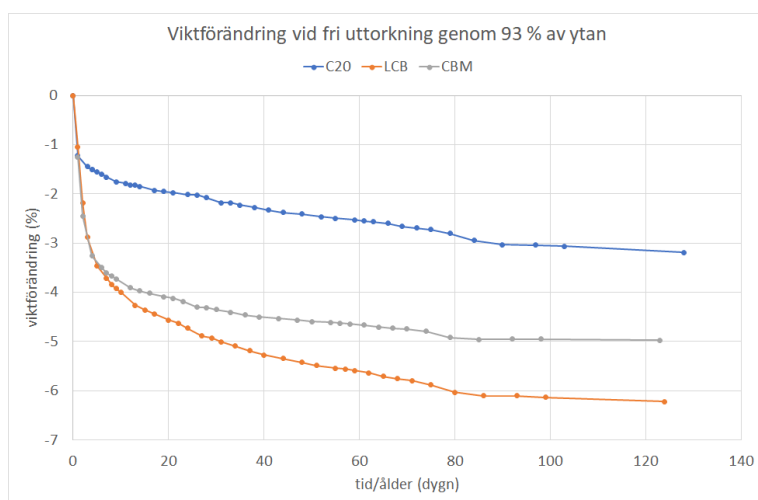
## Bilaga E Uttorkning

**E1. Fri uttorkning** av betong i labbmiljö undersöktes på **prismor** med måtten längd\*bredd\*tjocklek 400\*200\*100 mm. Temperaturen under mätperioden varierade mellan 22 och 18 grader medan den relativa fuktigheten mellan 63 och 24 procent, med en över tid sjunkande, årstidrelaterad trend (mätperiod september - november). Uttorkningsförloppet visas i Figur E.1.

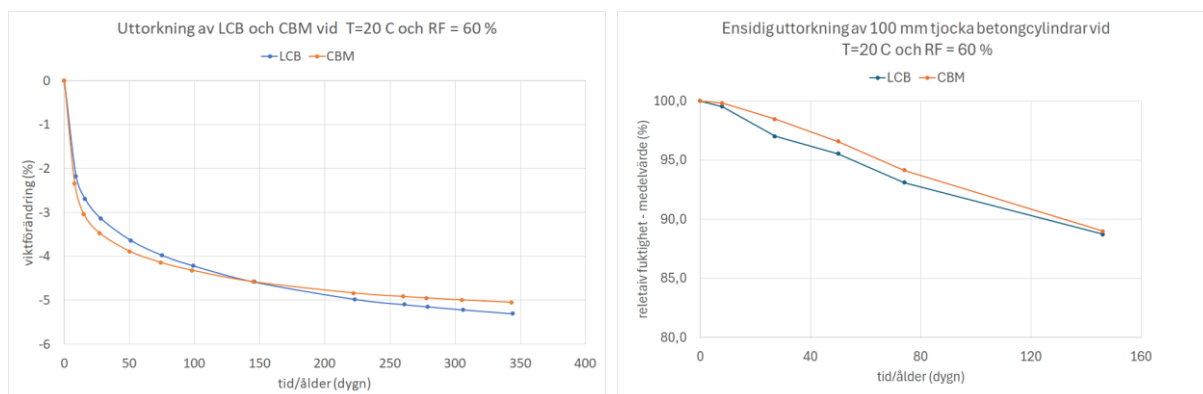
**E2. Ensidig uttorkning** av 100 mm tjocka **betongcylindrar** vid temperaturen 20 grader och den relativa fuktigheten 60 % studerades genom att mäta både viktförändring och relativ fuktighet. Det senare gjordes med hjälp av givare av typen HumiGuard under 150 dagar. Givarna placerades i borrhål på 20, 50 och 80 mm från den fria ytan. Mätningarna genomfördes på betong av typen CBM och LCB, fem för vardera betongtyp. Uttorkningsförloppet i form av viktminskning visas i Figur E.2 (vänster) medan den avseende relativ fuktighet i Figur E.2 (höger).



**E.3 Sorptionskurvor** hos fem olika bruk bestämdes på provkroppar med måtten längd\*bredd\*tjocklek 40\*40\*4 mm. Brukens sammansättning visas i Tabell E.1 medan sorptionskurvorna i Figur E.3 och E.4. Med kunskap om betongens sammansättning och förloppet om ensidig uttorkning enligt avsnitt E.2, kan brukets sorptionskurvor användas till att uppskatta uttorkningstiden hos konstruktioner, till exempel en grundplatta.



Figur E.1 Fri uttorkning av prismor med måtten 400\*200\*100 mm i labbmiljö. Temperaturen och den relativa fuktigheten varierade mellan 18 – 22 grader respektive 24 – 63 %.

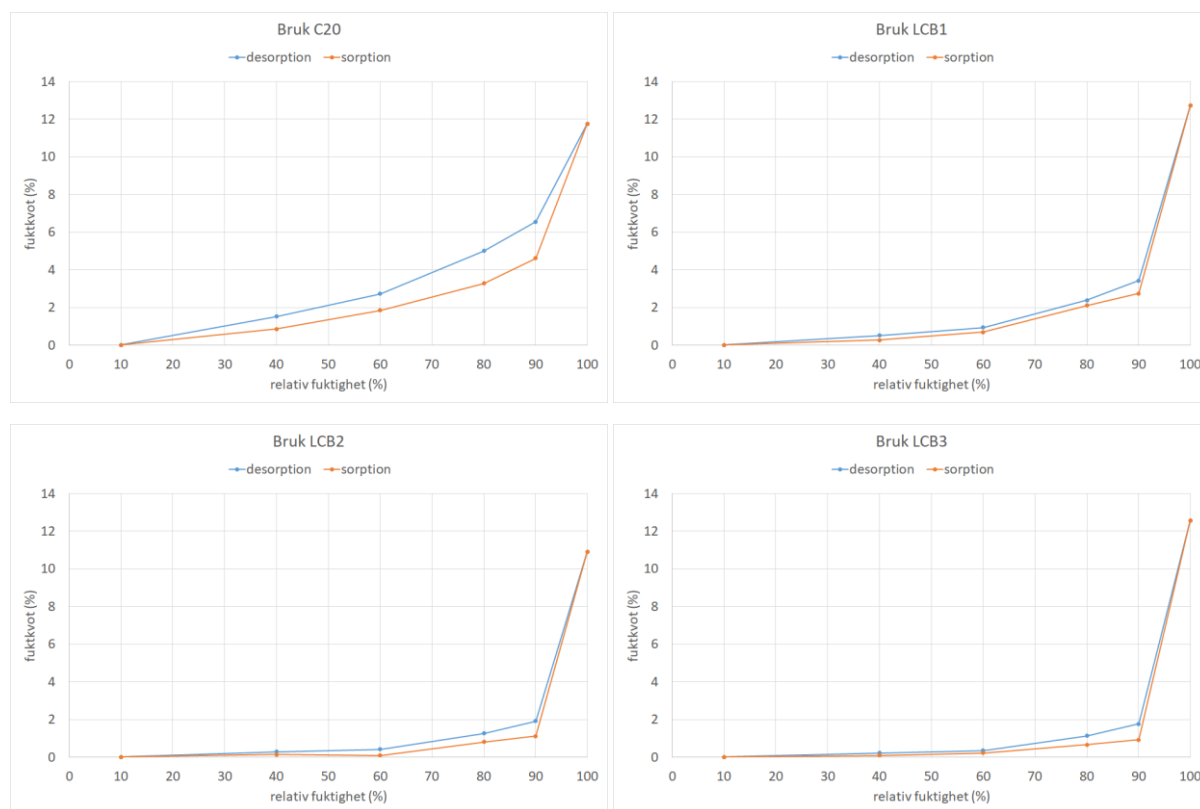


Figur E.2 Ensidig uttorkning av 100 mm tjocka betongcylindrar vid temperaturen 20 grader och den relativa fuktigheten 60 %. Vänster – viktförändring; höger – förändring av relativ fuktighet, medelvärde av mätningar på 20, 50 och 80 mm från den fria ytan.

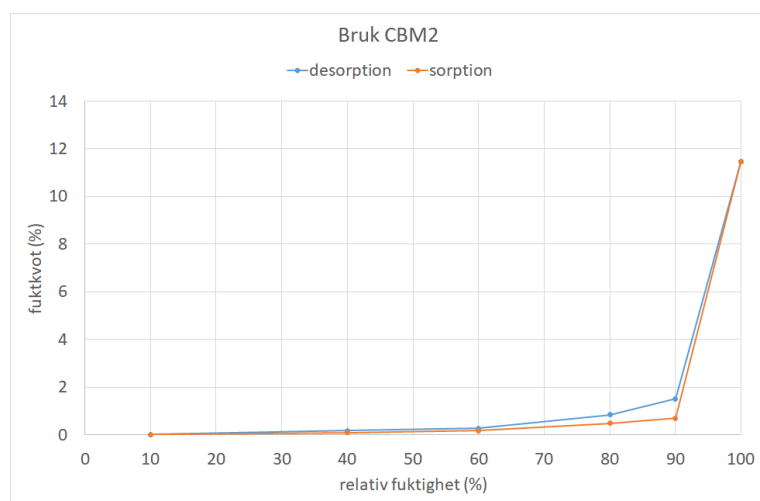


Tabell E.1 Sammansättning (recept) hos fem bruk som ingick i studien om sorptionsegenskaper. Beteckningar enligt Bilaga A.

Material	C20 (kg/m <sup>3</sup> )	LCB1 (kg/m <sup>3</sup> )	LCB2 (kg/m <sup>3</sup> )	LCB3 (kg/m <sup>3</sup> )	CBM2 (kg/m <sup>3</sup> )
Byggcement typ Cementsa Skövde	580	319	162	138	200
Filler av kalkstensmjöl av typen Limus 15 från Nordkalk	-	547	697	713	680
Tvättad sand 0 - 2 mm	1458	1150	1183	1183	1121
Vatten	348	319	269	265	286
Flyttillsats ViscoCrete 6730	1,70	2,86	2,50	3,70	4,00
<b>Totalt</b>	<b>~2388</b>	<b>~2338</b>	<b>~2314</b>	<b>~2303</b>	<b>~2291</b>



Figur E.3 Sorptionskurvor för bruk C20, LCB1, LCB2 och LCB3, med recept enligt Tabell E.1



Figur E.3 Sorptionskurvor for bruk CBM2 med recept enligt Tabell E.1

## Bilaga F Energi- og klimategger

Effekterne av att anvende betong CBM i stället for betong C20 har beraknats for en husgrund av typen platta pa mark. Grundplattan har en yta pa 100 m<sup>2</sup> og inneholder 12,4 m<sup>3</sup> betong – 10 m<sup>3</sup> i den 100 mm tjocke plattan og ytterligere 2,4 m<sup>3</sup> i plattens forsterkede kanter. Recept for betong C20, LCB1 og CBM2 vises i Tabell F.1.

Tabell F.1 Recept for betong C20, LCB1 og CBM2, med betegninger enligt Bilaga A.

Material	Betong C20 (kg/m <sup>3</sup> )	Betong LCB1 (kg/m <sup>3</sup> )	Betong CBM2 (kg/m <sup>3</sup> )
Cement	336	175	110
Filler	-	337	374
Tvättad sand 0 - 2 mm	845	715	617
Tvättad makadam 8 - 11 mm	1028	914	-
Tvättad makadam 32 - 63 mm	-	-	1180

**Tillverkningsenergi.** Vid anvendning av CBM i stället for betong C20, uppskattas energibesparingen pa grund av sankt cementhalt till 12,4 m<sup>3</sup> \* (0,336 - 0,110) t/m<sup>3</sup> \* 0,867 MWh/t = 2,4 MWh. Motsvarande siffror for filler blir 12,4 m<sup>3</sup> \* 0,374 t/m<sup>3</sup> \* 0,102 MWh/t = 0,5 MWh (Filler kalkstein Verdal, EPD-Norge 2024, PERE og PENTR). Besparingen uppskattas till 2,4 - 0,5 = 1,9 MWh per husgrund.





**Klimatavtryck.** Minskat klimatavtryck i form av koldioxidekvivalenter för skedena A1 – A3 beräknas med värden från Boverkets klimatdatabas och EPD-Norge, se Tabell F.2. Vid användning av betong CBM i stället för betong C20, uppskattas klimatavtrycket minska med  $12,4 \text{ m}^3 * (279 - 102) \text{ kg/m}^3 = 2195 \text{ kgCO}_2\text{e}$  per husgrund.

Tabell F.2 Klimatavtryck GWP ( $\text{kgCO}_2\text{e/m}^3$ , skedena A1 – A3) för betong C20, LCB1 och CBM2, recept enligt Tabell F.1.

Material	GWP kgCO <sub>2</sub> e/kg	Betong C20 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	Betong LCB1 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )	Betong CBM2 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> )
Cement (Boverket 2024)	0,813	273,2	142,3	89,4
Filler (EPD-Norge 2024)	0,019	-	6,4	7,1
Tvättad sand 0 - 2 mm	0,003	2,5	2,1	1,9
Tvättad makadam 8 - 11 mm	0,003	3,1	2,7	-
Tvättad makadam 32 - 63 mm	0,003	-	-	3,5
<b>Totalt</b>		<b>~279</b>	<b>~154</b>	<b>~102</b>



*Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.*

*E2B2 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.  
Läs mer på [www.E2B2.se](http://www.E2B2.se).*

