

# RE: SOURCE

Slutrapport för projekt

---

## Återanvända Gjuterisand - REsurseffektiv Natursand: från labb till betongprodukt (ÅGREN II)

---

Projektperiod: juni 2016 till december 2018  
Projektnummer: 42502-1

Med stöd från:



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM

# Återanvända gjuterisand – Resurseffektiv natursand: från labb till betongprodukt

## Reuse Foundry Sand: Resource Effective Sand in Concrete – from lab to product

Titel på projektet – svenska Återanvända gjuterisand - Resurseffektiv natursand: från labb till betongprodukt
Titel på projektet – engelska Reuse foundry sand: resource effective sand in concrete - from lab to product
Universitet/högskola/företag RISE SWECAST
Adress Box 2033, 550 02 Jönköping
Namn på projektledare Ulf Gotthardsson
Namn på ev övriga projektdeltagare Mahsa Saeidpour, RISE SWECAST Linus Brander, RISE Kristin Fransson och Karin Wilson, RISE IVF Daniel Larsson, Unnaryd Modell Andreas Thorelund, Thorelund Consulting (för Naijbetong) Sofie Strähle, Holsbyverken i Vetlanda Mikael Wetterheim, Brogårdsand / Finjabetong Krister Wolcan, Trollhättan Mineral Lena Ecke Törnblom, Stena Metall Peter Andersén, Svenska Cement Björn Cedergren, Johnson Metall
Nyckelord: 5-7 st Sand Avfall Avfallssand Gjuterier Ballast Betong

Med stöd från:



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM

Med stöd från:



FORMAS



STRATEGISKA  
INNOVATIONS-  
PROGRAM

## Förord

Projekt ”ÅGREN II” genomfördes med stöd inom det strategiska innovationsprogrammet RE:Source, som finansieras av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

Projektgruppen bestod av representanter för företagen Unnaryd Modell AB, Najjbetong AB, Holsbyverken i Vetlanda AB, AB Brogårdsand/Finjabetong AB, Johnson Metall AB, Stena Metall AB, Norrhults Stålgjuteri AB, Trollhättan Mineral AB och Svenska Cement AB. De forskningsinstitut som deltog i projektet var RISE AB, RISE IVF AB och RISE SWECAST AB.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	6
Inledning och bakgrund .....	9
Genomförande, resultat och diskussion .....	10
1 Kravbild och lämpliga betongprodukter .....	10
Standarder och CE-märkning.....	10
Lämpliga betongprodukter.....	12
2 Karaktärisering av restsand från gjuterier.....	14
Provtagning.....	14
Översikt gjuterisand som ingått i studien .....	14
Provpreparering .....	14
Provningar – metodbeskrivning och resultat .....	15
3 Provning av bruk med gjuterisand som ballast.....	45
Bruksprovningar för tryckhållfasthet.....	45
Bruksprovning – Bindetid.....	49
4 Betongprovning hos RISE CBI.....	51
5 Betongprovning i fabrik 1 .....	54
Tryckhållfasthet .....	59
Frostresistens .....	60
5.2 Betongtillverkning i Betongfabrik 2 .....	62
6 Lakteter.....	63
Koncept i ÅGREN 2 .....	63
Genomförande .....	64
Resultat .....	64
Jämförelse av resultat gentemot kravdokument.....	66
7 Livscykelanalys (LCA) och Livscykelkostnadsanalys (LCC).....	69
Affärsmodell för återanvänd gjuterisand .....	69
Introduktion .....	69
Affärsmodell för återanvändning av gjuterisand i betongindustrin.....	69
Varför byta natursand mot gjuterisand i ballast.....	70

Möjliga affärsmodeller .....	71
Livscykelanalys (LCA).....	73
Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg .....	74
Referenser .....	75

## Sammanfattning

I detta projekt har använd sand från gjuterier - sand som ofta hamnar på deponi - använts som finfraktion i ballastmaterial i betong. I pilotprojektet "Ågren" testades möjligheten att tillverka betongprodukter med innehåll av sand från gjuterier där olika produktionsmetoder använts. I det här projektet låg fokus på att skala upp de erfarenheterna genom att tillverka fullstora betongprodukter.

I projektet användes tio sandtyper från fyra gjuterier som gjuter med sinsemellan olika metaller och använder olika form- och kärnprocesser. Sanderna skiljer sig alltså åt egenskapsmässigt, men en gemensam nämnare är att de ligger i kornstorleksintervallet 0 - 1 mm, en fraktion som betongtillverkarna ofta önskar. Inledningsvis fastställdes egenskaperna hos gjuterisandtyperna och egenskaper hos betong som tillverkades i laboratorium. Därefter formulerades och tillverkades fullstora betongprodukter med gjuterisand som finfraktion i betongfabriker. Utlakningsegenskaperna hos sådan tillverkad betong fastställdes också. Avslutningsvis diskuterades tänkta affärsmodeller för hur gjuterisand kan användas i betongframställning, tillsammans med en livscykelanalys för två av fallen.

Hur väl gjuterisand fungerar som finfraktion i betong beror på olika faktorer. Dels är det en fråga om vilka krav som ställs på betongprodukten. Det är också en fråga om vilka egenskaper sanden har, till exempel vilket bindemedelssystem gjuteriet har använt eller vilken metall som gjutits. Arbetet ger riktlinjer för hur man ska agera och vad man ska testa, beroende på vilken gjuterisand man har och vilka krav som ställs på betongprodukterna som ska tillverkas.

De olika sandernas mineralinnehåll var i de flesta fall relativt lika. Detta är en följd av att kvarts-fältspatsand från samma område vid södra Vättern är den mest använda sanden för svenska gjuterier. Halterna av spårämnen var relativt lika mellan de olika sanderna, men vilken metall som gjutits kom att påverka dessa halter. Analyser av vattenlöslig klorid, humus och fulvosyra visade att alla sander klarade uppsatta krav, även om det i vissa fall var nära gränserna.

Vid laboratorieförsök med bruksblandningar erhöles något annorlunda resultat jämfört med motsvarande försök i pilotprojektet. Gemensamt för båda projektresultaten är att bentonitbunden gjuterisand presterar sämst och upplevs olämplig för betongtillverkning.

Gjutning av större betongelement i två betongfabriker visade att det är möjligt att gjuta verkliga betongprodukter med gjuterisand. Men med en ny råvara i blandningen ändras förutsättningarna något. Blandningarna kan behöva justeras och därför också den programvara som används för att styra recepten.

Lakteter utfördes på betong som tillverkats på betongfabrik. Några självklara gränsvärden att jämföra lakningen med fanns inte, och därför gjordes jämförelser med gränsvärdena för deponi för inert avfall. Samtliga parametrar utom en låg under gränsvärdena; endast utlakningen av DOC översteg värdet.

I en del av projektet diskuterades affärsmodeller för att gjuterisanden ska kunna användas i betong. I korthet är bilden att gjuteriet vill bli av med sanden samtidigt som betongfabriken vill ha finfraktionen med små rundade sandkorn. Idag lämnar oftast gjuteriet sin sand till antingen deponi eller markfyllnad. Betongfabriken köper ofta krossat berg, med mindre lämpliga kornformer men kanske med kort transportsträcka och garanterad materialtillgång. I den enklaste affärsmodellen går gjuterisanden direkt från gjuteri till betongfabrik. Ett alternativt scenario skulle kunna vara en aktör som centralt tar hand om gjuterisand från flera gjuterier. Där skulle sanden kunna behandlas, blandas, karaktäriseras, CE-märkas och säljas som finfraktion till betong.

I livscykelperspektiv är transportsträckorna ofta begränsande, men i gjuteri-betongfabriksituationen domineras miljöpåverkan av ingående cement. Kan man, tack vare gjuterisandens egenskaper, tillverka betong med lägre innehåll av cement, kan det ändå vara möjligt att transportera sanderna längre och tillverka betong med bibehållen eller till och med lägre miljöpåverkan.



Betongstöd tillverkat med gjuterisand som finfraktion i ballastmaterialet.

## Summary

In this project, used sand from foundries - sand that often ends up in landfill - has been used as a fine fraction in concrete ballast materials. The pilot project "Ågren" tested the possibility of producing concrete products containing sand from foundries

where different production methods had been used. In this project, the focus was on scaling up those experiences by producing full-sized concrete products.

The project used ten types of sand from four foundries that cast with different metals and use different mold and core processes. The sands thus differ in characteristics, but a common denominator is that they are located in the grain size range of 0 - 1 mm, a fraction that concrete manufacturers often desire.

Initially, the characteristics of the foundry sand types and characteristics of concrete produced in the laboratory were established. After that, full-sized concrete products were formulated and manufactured with foundry sand as fine fraction in concrete factories. The leaching properties of such manufactured concrete were also established. Finally, intended business models were discussed for how foundry sand can be used in concrete production, together with a life cycle analysis for two of the cases.

How well foundry sand acts as a fine fraction in concrete depends on various factors. On the one hand, it is a question of what requirements are placed on the concrete product. It is also a question of what properties the sand has, for example, what binder system the foundry has used or what metal has been cast. The work provides guidelines on how to act and what to test, depending on what foundry sand you have and what requirements are placed on the concrete products to be manufactured. In most cases, the mineral content of the different sands was relatively similar. This is a consequence of the fact that quartz-feldspar sand from the same area at southern Vättern is the most widely used sand for Swedish foundries. The levels of trace elements were relatively similar between the different sands, but which metal was cast came to affect these levels. Analyses of water-soluble chloride, humus and fulvic acid showed that all sands met set requirements, although in some cases it was close to the limits.

In laboratory experiments with use mixtures, slightly different results were obtained compared to the corresponding trials in the pilot project. Common to both project results is that bentonite-bound foundry sand performs worst and is perceived as unsuitable for concrete production.

Casting of larger concrete elements in two concrete factories showed that it is possible to cast real concrete products with foundry sand. But with a new raw material in the mixture, the conditions change somewhat. The mixtures may need to be adjusted and therefore also the software used to control the recipes.

Leach tests were carried out on concrete manufactured at a concrete factory. There were no obvious limit values to compare the leaching with, and therefore comparisons were made with the limit values for landfill for inert waste. All parameters except one were below the limit values; only the leaching of the DOC exceeded the value.

Part of the project discussed business models for castings to be used in concrete. In short, the picture is that the foundry wants to get rid of the sand at the same time as



the concrete factory wants the fine fraction with small rounded grains of sand. Today, the foundry usually leaves its sand to either landfill or soil filling. The concrete factory often buys crushed rock, with less suitable grain forms but perhaps with a short transport distance and guaranteed material availability. In the simplest business model, foundry sand goes directly from foundry to concrete factory. An alternative scenario could be an actor that centrally takes care of foundry sand from several foundries. There, the sand could be treated, mixed, characterized, CE marked and sold as fine fraction in concrete.

From a life cycle perspective, transport distances are often limiting, but in the foundry-concrete factory situation, the environmental impact is dominated by input cement. If, thanks to the properties of the foundry sand, concrete with a lower content of cement can still be produced, it may still be possible to transport the sands further and produce concrete with the same or even lower environmental impact.

## Inledning och bakgrund

De svenska gjuterierna använder årligen ungefär 4 miljoner ton sand i sina processer. I de allra flesta fall cirkuleras sanden internt i gjuteriet och används många gånger, vilket leder till att den totala sandkonsumtionen snarare ligger på 300 000 ton. Sanden kan, av olika skäl, inte användas oändligt många gånger, och så småningom hamnar den i någon annan applikation eller på deponi.

Den svenska betongindustrin använder å andra sidan en betydligt större mängd både krossmaterial och sand som finfraktion i sina produkter. Betongprodukter är dessutom ofta mycket långlivade, varför returbetong inte är en betydande källa för användbara finfraktioner. Här finns sambandet. Att använda restsand från gjuterier skulle ge cirkulära materialflöden och minska uttag av ändliga resurser. För att tillverka betong med god styrka och önskad utflytning är det en fördel att blanda in sand med den kornstorlek och kornform som gjuterierna deponerar.

Det finns en omfattande flora av gjuterisand. Gjuterierna är i många fall specialiserade och använder en viss typ av sand och vissa typer av bindemedel. Detta är en följd av vilken metall man gjuter, vilken typ av produkt man tillverkar och vilken utrustning man har för att tillverka sandformarna och sandkärnorna.

I pilotprojektet ÅGREN samlades olika typer av gjuterisand in för karaktärisering och bedömning av deras potential att användas som finfraktion i betongblandningar. Där tillverkades laboratorieblandningar av betong, med olika innehåll av gjuterisand av olika typer, varefter deras tekniska egenskaper testades. Resultaten visade att flera typer av gjuterisand borde fungera utmärkt som finfraktion, samtidigt som andra, till exempel bentonitbunden formsand, fungerar sämre.

I det här projektet flyttades och förstörades betongförsöken, från pilotprojektets laboratorieskala till fullstora försök vid kommersiella betongfabriker. Där tillverkades betongprodukter, plintar och stöd, med gjuterisand i ballastmaterialet.

## Genomförande, resultat och diskussion

### 1 Kravbild och lämpliga betongprodukter

Som inledande del av projektet gjordes en studie över vilka krav och bestämmelser som reglerar betong och betongballast i Sverige. För enkelhetens skull används termen *betong* i denna rapport för alla typer av cementbundna produkter, även när de i strikt mening inte utgörs av betong, utan i stället t.ex. bruk. Gällande produktstandarder har granskats med avseende på användning av återvunna material i finare fraktion (<2 mm). Dessutom har dialog förts med deltagande betongtillverkare över vilka specifika kvalitetskrav de har för sina produkter, samt så har grundläggande information samlats in från deltagande gjuterier vad gäller de sandtyper de använder.

#### *Standarder och CE-märkning*

För användning av ballast i betongprodukter är grundregeln att såväl ballast som betongprodukt ska CE-märkas. Vissa enklare betongprodukter ska inte CE-märkas, men beställare/kund kan förstås ha en viss kravbild ändå. Hur CE-märkning går till och vilka egenskaper som ska redovisas och hur dessa ska testas, regleras för betongballast genom SS-EN 12620 (*Ballast för betong*) och för betong genom SS-EN 206 (*Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse*), eller för den senare snarare dess tillämpning i Sverige: SS 13 70 03 (*Betong - Användning av EN 206 i Sverige*). Enligt SS 13 70 03 räknas restsand från gjuterier som en godkänd typ av återvunnen ballast och i stort gäller samma regler för sådan som för jungfrulig finballast (<2 mm). Finfraktionen (0–2 mm), inklusive filler, nämns inte specifikt i återvinningsssammanhang, vare sig i betongstandarden (SS-EN 206 och SS137003) eller ballaststandarden (SS-EN 12620), och således finns varken regler eller förbud. En möjlig tolkning av detta är att om den återvunna ballasten <2 mm uppfyller samma krav som motsvarande primära ballast, så får den användas på samma sätt. De generella kraven på finfraktion och filler rör framförallt kemiska egenskaper, såsom högst tillåtna halter klorider, svavel och sulfater, samt begränsningar i beståndsdelar som påverkar betongens bindetid. Följaktligen ska följande egenskaper testas för återvunnen ballast:

- Kornstorleksfördelning inklusive finmaterialhalt
- Korndensitet och vattenabsorption
- Vattenlösliga klorider
- Vattenlösliga sulfater
- Humushalt
- Inverkan på bindetid
- Alkalisilikareaktivitet (ASR)
- Petrografisk analys

Enligt SS-EN 12620 krävs det dessutom kännedom om råmaterialet. För restsand från gjuterier har vi tolkat detta som att man bör ha dokumentation/information om från vilket gjuteri den återvunna sanden kommer, vilken ursprungssand man använt (t.ex. Brogård, Råda eller importerad specialsand), vad restsanden innehåller med avseende på olika bindemedel och andra tillsatser samt halter av dessa, vilka metaller och vid vilka temperaturer man har gjutit, samt hur sanden hanterats och förvarats efter den tagits ut från gjuteriprocessen (t.ex. öppen eller sluten container, inomhus eller utomhus). Om det misstänks högre halter av svavel och/eller syralöslig sulfat i restsanden från gjuteri, t.ex. från organiska bindemedel, så bör dessa egenskaper testas. Likaså bör det säkerställas att det inte finns högre halter av s.k. amfotära metaller i restsanden, som potentiellt kan påverka porstrukturen hos den hårdnande betongen negativt.

Gjuterierna har vanligtvis nödvändig dokumentation om sanden, bindemedel, katalysatorer och processen. Om viss information saknas innebär inte det att sanden absolut inte går att använda, men som tumregel kan sägas att ju mindre dokumentation man har, desto svårare blir processen att karaktärisera och i förlängningen CE-märka sin sand. Om man till exempel känner till att bentonit och inte något annat använts som bindemedel, så är det lättare att redan från början välja rätt analysmetod och kompletterande kontroller, samt underlättar hur man ska tolka vissa resultat, jämfört med att börja från grunden med en helt okänd restsand. Ett annat exempel är ursprungssanden. Är det känt att en viss gjuterisand baseras på Brogårdssand och ASR-provning indikerar att sanden är alkali-silika-reaktiv, trots att jungfrulig Brogårdssand inte visat de tendenserna tidigare, så är en logisk slutsats att det är något annat i sanden som ger utslag i provningen, t.ex. bindemedel eller någon tillsats.

Eftersom många betongprodukter i CE-märknings-sammanhang ligger under vad som i byggproduktförordningen benämns System 2+, så ska företagets rutiner vad gäller produktion, egenkontroll, tester vid externa laboratorier och märkning certifieras. En certifierad täkt eller betongfabrik granskas vid återkommande så kallade revisioner, dvs. besök av tredje part som granskar verksamheten och skriver avvikelserapport. Samma provningar och revisionsintervall som jungfrulig ballast. Vid sådan revision kan till och med besök hos underleverantör komma på tal. För gjuterisand kan detta tolkas som att gjuteriet blir en form av underleverantör till täkt eller betongfabrik. För System 2+ ska dock täkten eller betongfabriken själva kontrollera underleverantören. Den betydelse detta får för gjuterier, betongfabrik och eventuella täkter eller återvinningsföretag som hanterar sanden och ingår i materialflödeskedjan, är att eventuella merkostnader som CE-märkning och certifiering medför bör tas med i affärsmodellen.

Hur man ska hantera restsand från gjuteri är inte givet som generellt fall, utan modell för detta måste tas fram utifrån de förutsättningar som finns mellan de involverade aktörerna i flödet för specifik restsand, med avseende på typ av gjuterisand, volymer som uppstår varje år, hur konstant eller intermittent volymerna uppstår, geografi, alternativa avsättningar, betongproducentens kravbild för de produkter sanden ska ingå i, betongfabrikens utrymme för fler fraktioner och resurser vad gäller CE-

märkning av ballast, osv. I vissa fall har betongproducenten gott om plats med extra ballastfickor och proportioneringsprogram så att de lätt kan anpassa efter ytterligare sortering, samt egen kompetens och resurser vad gäller CE-märkning av betongballast. I de fallen kan det räcka med att endast de två aktörerna är inblandade i hanteringen av restsanden. I andra fall saknar betongproducenten utrymme och interna logistiksystem för ytterligare fraktion, eller kanske inte har egna resurser för CE-märkning av betongballast. I sådana fall kan det vara smidigare att en lokal ballasttäkt eller återvinningsföretag agerar mellanhand och tar emot restsand från gjuteriet, CE-märker denna och sedan blandar med befintlig 0/4 eller 0/8 i lagom proportion, innan slutlig ballastsortering levereras till betongfabrik(er). I det senare fallet så blir det sannolikt en transport extra, men å andra sidan kan det vara gynnsamt med avseende på stabilare volymflöden och att rätt kompetens sköter tester, CE-märkning och certifiering av sand.

Ett val man också måste göra är huruvida testa endast gjuterisanden eller om man ska testa slutprodukten, t.ex. en 0/8-sortering som består av bestämda proportioner jungfrulig ballast och återvunnen dito. Det finns redan idag ballastproducenter som blandar olika jungfruliga ballastmaterial för att reducera negativ inverkan med avseende på en eller flera egenskaper, och därefter testar och CE-märker slutprodukten. Alla ingående komponenter måste dock finnas dokumenterade.

**Tabell 1.1 Olika typer av bindemedel och förslag på tester utöver grundläggande**

Bindemedelsklass	Innehåll	Egenskaper testa utöver de för jungfrulig ballast
Bentonit	3–8 % bentonit + 2–4 % kolpulver + vatten	Påverkan tillsatsmedel, kalorimetri,
Vattenglas – kemisk (oorganisk), alkalisk	Ca 2 % vattenglas + härdande ester	ASR (bruk), alkalihalt (jonkromatograf)
Furan – kemisk (organisk), sur	Ca 2 % furfurylalkohol	Lakning/emission organiska ämnen, härdning
Fenol/Resol – kemisk (organisk), alkalisk	Ca 2 % fenol-resol	Lakning/emission organiska ämnen, härdning

### *Lämpliga betongprodukter*

Betongfabrik 1 tillverkar endast prefabricerad byggelement (prefab-element), dvs. de har en någon fabriksbetong för utleverans. Bland dessa prefab-element återfinns plintar, sandwichelement, bjälklag och balkonger. De flesta produkterna har krav vad gäller exponeringsklass, CE-märkning och certifiering.

Ballasten tas från lokal täkt, där 0/8-sorteringen har brist på finhalten och restsand från gjuteri skulle kunna fylla en funktion att få upp denna, och i förlängningen därmed kunna sänka cementhalten om man slipper kompensera bristen på finmaterial

med sådan. Man använder Skövde Byggcement och gör såväl självkompakterande (SKB) som vibrerad betong.

I projektet har Betongfabrik 1 gjutit plintar med SKB där ballasten till upp till 25 vikt-% består av återvunnen restsand från gjuteri.

Vattenglasbunden sand fungerar väl i vissa fall, men kan i andra fall ge otillfredsställande resultat beroende på andra faktorer som vilken katalysator man använt, vilka metaller man gjutit, osv.

Det här ger riktlinjer om hur man ska agera och vad man ska testa, beroende på vilken gjuterisand man har och vilka produkter som tänks. Jämför betongprodukter med krav på CE-märkning och certifiering, med enklare produkter med lägre kravbild. L-stöd, plintar och marksten.

## 2 Karaktärisering av restsand från gjuterier

### Provtagning

De deltagande gjuterierna tog ut provmaterial från högar med använd gjuterisand, som tagits ur produktion. Sanden hälldes i hinkar som sedan skickades till RISE CBI.

### Översikt gjuterisand som ingått i studien

De sandtyper som ingått i studien sammanfattas i Tabell 2.1. Informationen om ursprungssand, bindemedel och vilka metaller respektive gjuteri främst arbetar med kommer från gjuteriföretagen, och samlades in under Arbetspaket 1.

Tabell 2.1 Karaktäriserade sandtyper

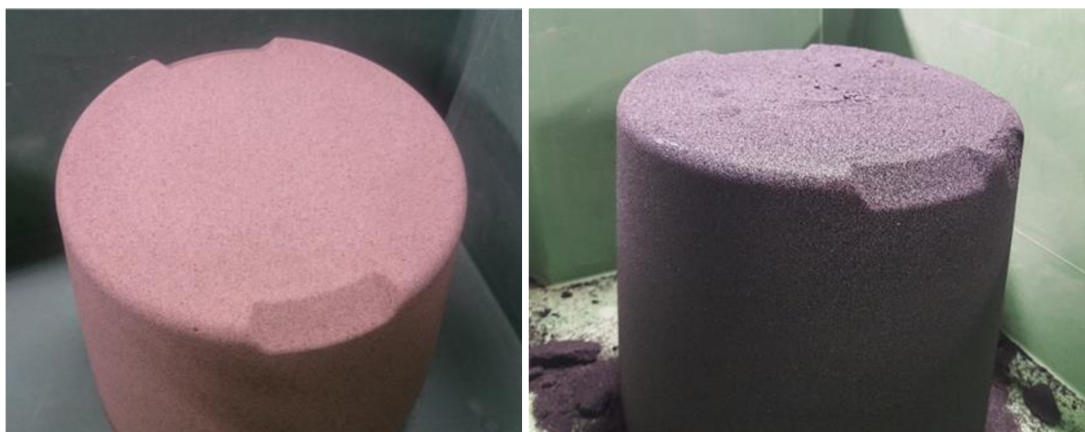
Företag	Sandtyp	Prov-ID	Ursprungs-sand	Bindemedel	Gjutna metaller	Temperatur gjutning (°C)
A	Resolsand	A-Ny	Baskarp	Alkalisk vattenbaserad harts	Aluminium Järn	700-780 1350-1550
		A-Rest				
B	Vattenglas-bunden	B-Ny	Baskarp	Natriumsilikat	Brons-legeringar	1100-1250
		B-Rest				
C	Vattenglas-bunden + Resolsand	C-Rest	Baskarp, Dansand, belgisk, zirkonsand	Natriumsilikat och alkalisk vattenbaserad harts	Låglegerat, kolstål, rostfritt, duplex	1540-1610
D *	Bentonit-bunden	D-Ny	Baskarp	Bentonit + sot	Segjärn, gråjärn	<1400
		D-Rest				
E*	Furansand	E-Ny	Baskarp	Furanharts	Segjärn, gråjärn	<1400
		E-Rest				
F*	Bläster-sand	F Rest	Baskarp	-	-	-

\*Samma företag som har tre typer av sand

Märkning *Ny* innebär att sanden ej är pågjuten, dvs ej har varit gjuten med utan enbart tillblandad med bindemedel och katalysator. Märkning *Rest* är gjuterisand som har använts en eller flera gånger och därefter tagits ur produktionen.

### Provpreparering

All provpreparering utfördes på RISE CBI i Borås. Som inledande moment undersöktes och beskrevs varje sand visuellt, se Tabell 2.2. Som förberedelse till de olika analyserna togs delprov ut för respektive metod lämplig mängd ut, genom neddelning med hjälp av roterande neddelare och halvering med spaltneddelare. Roterande neddelare och spaltneddelaren säkerställer att delproven man tar ut blir slumpmässiga och därmed representativa för hela det prov som skickats in. Vid provberedning upptäcktes att tre av materialen hade klumpat ihop sig i sina hinkar: A-Ny, B-Ny och E-Ny. Dessa tre materialen krossades med hjälp av en hammare innan vidare neddelning.



Figur 2.1 Två av materialen som hade kvarvarande form efter hink.

Tabell 2.2 Visuell och inledande undersökning

A-Ny	Rödbrun sand. Sanden fick grovkrossas med hammare innan neddelning. En mycket liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
A-Rest	Rödbrun sand, dock något mindre röd nyans än sin föregångare (A-Ny). En mycket liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
B-Ny	Ljusbrun/beige sand. Sanden fick grovkrossas med hammare innan neddelning. En liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
B-Rest-1,2,3	Ljusbrun/beige sand med tydliga inslag av mörkare material. En liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
C-Rest	Svart sand med inslag av liten mängd ljusare material. En större mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
D-Ny	Svart sand. Mycket material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
D-Rest	Svart sand. Mycket material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
E-Ny	Svart sand. Sanden fick grovkrossas med hammare innan neddelning. En mycket liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
E-Rest	Svart sand med inslag av liten mängd ljusare material. En mycket liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.
F-Rest	Svart sand med inslag av liten mängd ljusare material. En liten mängd material tvättades bort på 0,063 mm-sikt.

#### Provningar – metodbeskrivning och resultat

De egenskaper som har analyserats i karaktäriseringen av gjuterisand är:



- Korndensitet och vattenabsorption
- Kornstorleksfördelning
- Kemisk analys – totalhalter
- Kemisk analys – vattenlösliga sulfater och klorider
- Humus och fulvosyra
- Alkalikiselsyrareaktivitet – ASR
- Petrografisk sammansättning – polarisationsmikroskopi
- Petrografisk sammansättning – röntgendiffraktion
- Innehåll av amfotära metaller med s.k. ”bubbeltest”

### Korndensitet och vattenabsorption

Korndensiteten ger ett mått på i provmaterialet ingående partiklars faktiska densitet. Eftersom den ursprungliga kvarts- och fältspatdominerade sanden förväntas ha ett relativt snävt densitetsspänn om 2,60–2,65 g cm<sup>-3</sup>, kan korndensiteten för de olika sandtyperna ge en antydning om mängd kvarvarande bindemedel och/eller eventuella smältrester (dvs. metall). Korndensitet behövs också vid proportionering av ballast i betongrecept. Vattenabsorption är en egenskap som ger ett mått på hur mycket vatten som sanden kan suga upp och om det i så fall kan bli problem med frostsprickor i den hårdnade betongen.

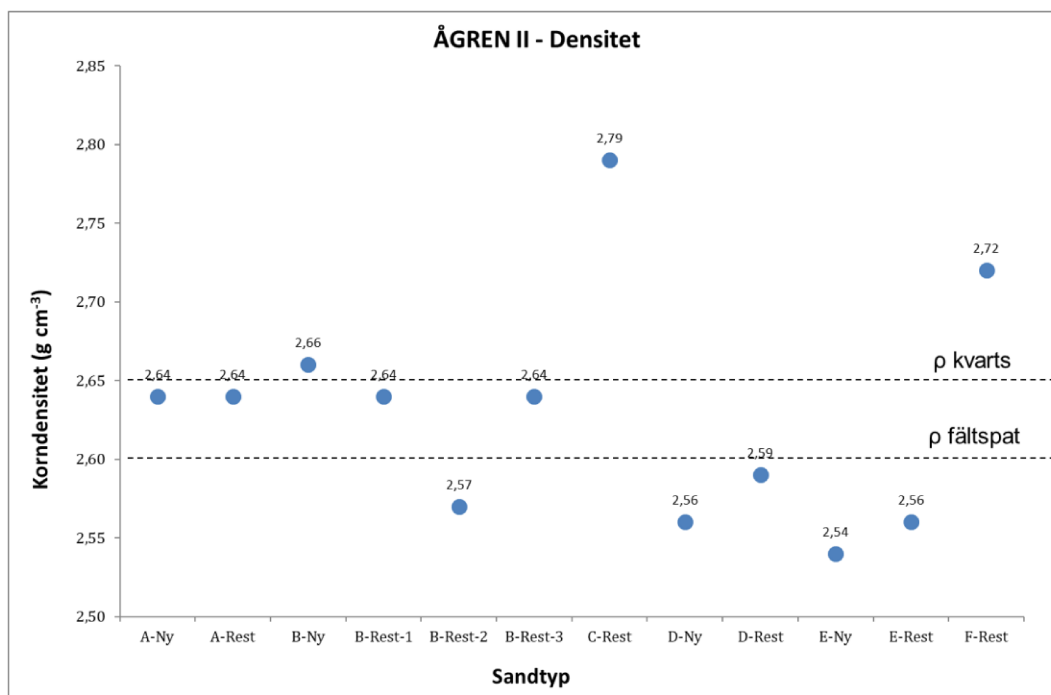
Korndensitet och vattenabsorption har uppmätts på fraktionen 0–2 mm (i realiteten är i stort sett alla korn <1 mm), med pyknometer enligt metoden SS-EN 1097–6:2013 avsnitt 9. Metoden ger densitet på de i sanden ingående partiklarna, med andra ord exklusive porutrymmen dem emellan.

Korndensitet och vattenabsorptionen för de olika sandtyperna redovisas i Tabell 2.3.

**Tabell 2.3 Resultat korndensitet och vattenabsorption**

Proventitet	Skenbar korndensitet (g cm <sup>-3</sup> )	Vattenabsorption (%)
A-Ny	2,64	0,2
A-Rest	2,64	0,2
B-Ny	2,66	0,4
B-Rest-1	2,64	0,2
B-Rest-2	2,57	0,2
B-Rest-3	2,63	0,2
C-Rest	2,73	0,3
D-Ny	2,56	0,2
D-Rest	2,59	0,2

E-Ny	2,54	0,1
E-Rest	2,56	0,0
F-Rest	2,72	0,5



**Figur 2.2. Korndensitet för de olika sandtyperna. Streckade linjer visar densitet för kvarts respektive fältspat (medel för mikroklin kalifältspat och albit plagioklas).**

Kommentarer till resultat: De flesta sanderna ligger inom normalt spann för sand som domineras av kvarts. Variation på densitet i material är normalt cirka  $\pm 0,05$ .

Den andra sändningen restsand från företag B (B-Rest-2) ligger lägre än den föregående och efterföljande sändningen. Detta kan bero på olika innehåll i sanden, men även vara ett mätfel. Metoden för korndensitet för ballast är inte optimal vad gäller sand och därför kan felbedömning av när sanden är vattenmättad men yttorr gjorts.

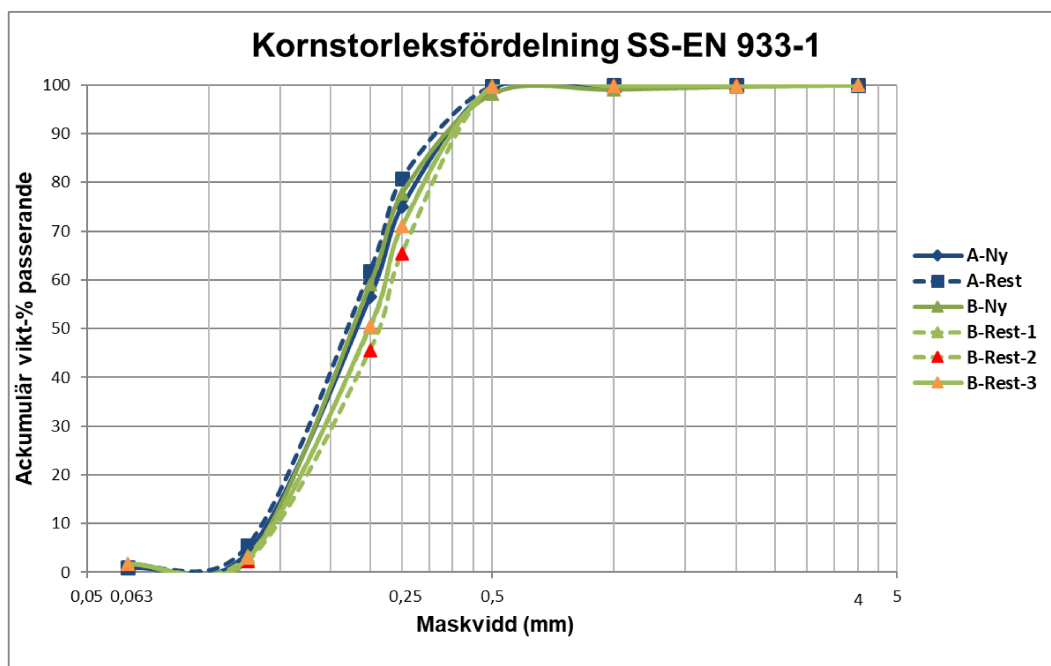
C-Rest ligger mycket högre än de andra, men detta beror sannolikt på att ursprungssanden inte är ren kvarts-fältspat-sand, utan också innehåller zirkon (densitet  $4,68 \text{ g cm}^{-3}$ ). Sanderna D och E ligger lägre i densitet än referensvärde för kvarts-fältspat-sand, vilket kan förklaras av att rester av bindemedel (som har lägre densitet i båda fallen) drar ner värdena. Sand F-Rest ligger högre, men då detta är en blästersand som använts för att slipa till ytor på järngods, så beror detta sannolikt på rester av järnspån i sanden.

## Kornstorleksfördelning

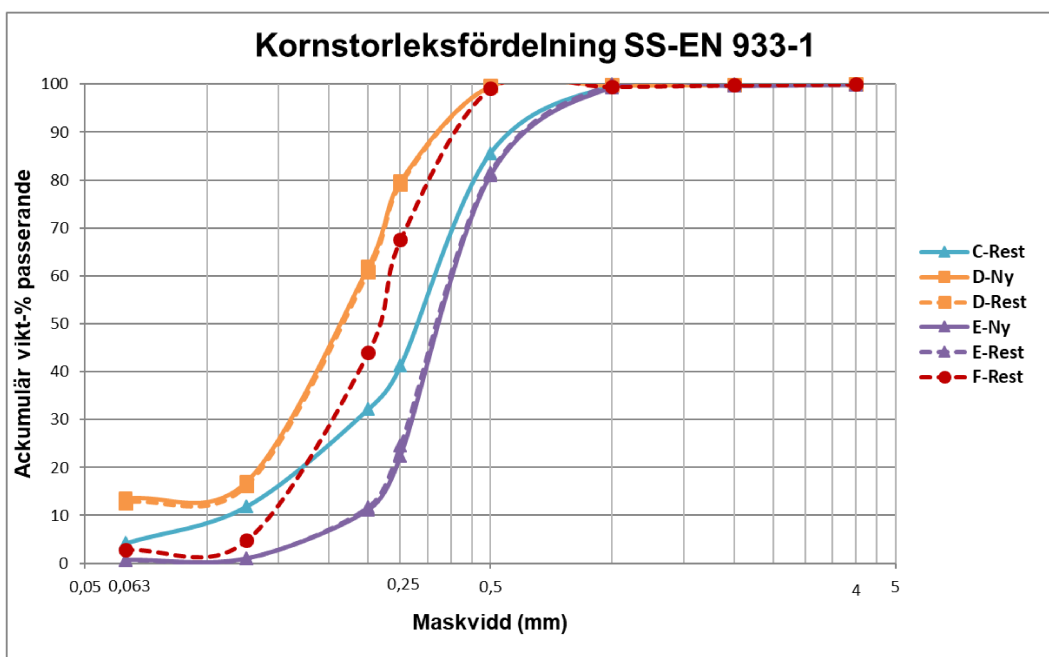
Genom att prova kornstorleksfördelning enligt SS-EN 933-1, dvs. genom siktning, får man fram hur stora korn det är i materialet och hur stor andel av materialet som är i ett visst storleksspänn. Detta gör man med hjälp av en serie siktar staplade ovanpå varandra med största maskvidd i toppen och minskande nedåt, i detta fallet siktar från 4 mm ned till 0,063 mm.

Två delprov med en total mängd av ca 400 g togs fram med hjälp av neddelning. Delproverna torkades till konstant vikt, vägdes in, rentvättades på en 0,063 mm sikt, torkades igen till konstant vikt, vägdes och hölls därefter över en förutbestämd siktserie. Siktserien med material placerades i en siktapparat tills provet var rensiktat. Slutligen vägdes materialet på respektive sikt och passerad mängd på respektive sikt beräknades.

Kornstorleksfördelning för de olika sandtyperna redovisas i Figur 2.3 och 2.4 och tabell 2.4 och 2.5.



Figur 2.3. Kornstorleksfördelning för sandtyperna A och B.



Figur 2.4. Kornstorleksfördelning för sandtyperna C, D, E och F.

Tabell 2.4 Kornstorleksfördelning redovisad som passerande mängd (%)

Prov-ID	A-Ny	A-Rest	B-Ny	B-Rest-1	B-Rest-2	B-Rest-3
Sikt [mm]	Passerande mängd (%)					
4	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100
1	100	100	99	100	100	100
0,5	99	100	98	100	100	100
0,3	75	81	78	71	65	71
0,25	56	62	59	50	45	50
0,125	4	6	3	3	2	3
0,063	0,9	1,0	1,7	1,5	1,6	1,8

Tabell 2.5 Sammanställning Kornstorleksfördelning Passerande mängd (%)

Prov-ID	D-Ny	D-Rest	E-Ny	E-Rest	C-Rest	F-Rest
Sikt [mm]	Passerande mängd (%)					
4	100	100	100	100	100	100

2	100	100	100	100	100	100
1	100	100	99	100	100	100
0,5	100	100	81	82	86	99
0,3	80	79	22	25	41	68
0,25	62	61	11	12	32	44
0,125	17	16	1	1	12	5
0,063	13,5	12,7	0,7	0,6	4,2	2,8

Kommentarer till resultat: Kornstorleksfördelningen visar att alla materialen ligger med största D under 1 mm och skulle då egentligen benämnas som 0/1-sortering. Det kan noteras en viss skillnad mellan *Ny* och *Rest* för samma sand. Detta har sannolikt sin förklaring i att många av materialen med märkning *Ny* var som stora klumpar när de anlände, formade efter hinken som de kom i. Sanden har sedan bankats och hamrats ner, så att stora klumpar försvann, men alla hopklumpade aggregat har inte helt krossats isär. Den siktkurva som är av störst intresse vid proportioneringen av betongballast kommer förstås vara den för respektive restsand (*Rest*).

### Kemisk analys – totalhalter

Bulkkemisk analys har gjorts med avseende på oorganiska beståndsdelar. Syfte är framförallt att se i vilken grad olika komponenter såsom bindemedel, tillsatser och/eller metallrester ger avtryck på totalsammansättning, samt som underlag för senare bedömning av eventuell förekomst av miljöfarliga ämnen.

Ett representativt prov från varje material krossades och maldes i stålfat till ett fint pulver som sedan skickades till ALS Scandinavia AB i Piteå för bulkkemisk analys (CCP-PKG01 - Whole rock analysis).

Varje prov analyserades på ALS med avseende på olika egenskaper med hjälp av uttagna delprover. Glödningsförlust (även kallat Loss of Ignition, LoI) utfördes vid 1000 °C och ger ett mått på mängden flyktiga ämnen som är hårt bundna i provet (vid så hög temperatur avgår t.ex. även kristallint bundet vatten och koldioxid). Delprover har vidare smälts med litiumborat och/eller lösts upp i syror, för att tillgängliggöra ingående grundämnen för erforderlig analysteknik.

Huvudelementen har analyserats med hjälp av optisk emissionsspektrometri med induktivt kopplad plasma (ICP-AES) och anges i tabellerna nedan som oxider i viktprocent. Spårämnen har analyserats med hjälp av masspektrometer med induktivt kopplad plasma (ICP-MS) och anges i tabellerna nedan som rena grundämnen i ppm. Totalt kol och svavel har analyserats genom oxidation och mätning av gaserna instrument från LECO och anges i viktprocent. ALS har med analysresultaten också

bifogat kontrollmätningar mot tolv olika standarder med känt innehåll av olika grundämnen, med mätvärden och det spann inom vilket sådana mätningar ska ligga.

Sand B-Rest-3 och C-Rest har ej analyserats för bulkkemisk sammansättning.

**Tabell 2.6 Sammanställning totalkemisk analys av huvudelement**

Sand	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
A-Ny	89,6	4,83	1,12	0,35	0,08	1,07	2,26	0,11	0,08
A-Rest	89,9	4,94	1,01	0,37	0,08	1,09	2,31	0,09	0,09
B-Ny	89,3	4,64	1,22	0,33	0,08	1,41	2,03	0,13	0,07
B-Rest-1	90,5	4,74	1,16	0,36	0,09	1,34	2,05	0,10	0,09
B-Rest-2	89,8	4,61	1,12	0,33	0,07	1,26	1,99	0,09	0,09
D-Ny	82,8	6,54	1,37	0,73	0,68	1,33	1,82	0,07	0,12
D-Rest	82,6	6,58	1,53	0,75	0,70	1,34	1,82	0,10	0,12
E-Ny	87,8	4,44	1,04	0,30	0,10	0,98	1,85	0,09	0,06
E-Rest	87,6	4,38	1,44	0,30	0,09	0,96	1,84	0,14	0,06
F-Rest	86,8	6,51	1,38	0,63	0,55	1,30	1,90	0,07	0,11

Sand	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	BaO	LOI	Total	C	S
	%	%	%	%	%	%	%	%
A-Ny	0,01	0,02	<0,01	0,05	0,77	100,35	0,46	<0,01
A-Rest	0,01	0,03	0,01	0,05	1,00	100,98	0,46	<0,01
B-Ny	0,01	0,02	0,01	0,05	1,33	100,63	0,28	<0,01
B-Rest-1	0,02	<0,01	0,01	0,05	0,89	101,40	0,22	<0,01
B-Rest-2	0,01	0,03	<0,01	0,05	0,79	100,24	0,21	<0,01
D-Ny	0,02	0,03	0,01	0,05	5,85	101,42	3,43	<0,01
D-Rest	0,03	0,04	<0,01	0,05	5,87	101,53	3,54	<0,01
E-Ny	0,01	0,01	0,01	0,04	3,22	99,95	2,07	0,04
E-Rest	0,01	0,02	0,01	0,04	3,13	100,02	2,15	0,04
F-Rest	0,03	0,01	<0,01	0,05	2,62	101,96	1,73	<0,01

Kommentarer huvudelement: Vad gäller huvudelement ger analysen samstämmiga resultat. De flesta sandtyper ligger på snarlika halter vad gäller dessa, vilket beror på att ursprungssanden dominerar i analysen och kommer från samma källa (Baskarp). Baskarpsanden består huvudsakligen av kvarts (bidrar till SiO<sub>2</sub>-halt) och fältspater (bidrar till halt av SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O och Na<sub>2</sub>O). Den sand som sticker ut är D-Ny och D-Rest, där bentonit utgör bindemedel. Enligt datasäkerhetsblad från företag D utgörs den bentonit man använder framförallt av montmorillonit, vilket är ett lermineral som har lägre halt av SiO<sub>2</sub> men högre av Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO och MgO, jämfört med kvarts och fältspat, vilket avspeglas i provernas totalsammansättning. Sanden F-rest är blandad med bentonitsand, varför den får snarlik sammansättning. Sand A-Ny och A-Rest innehåller mer K<sub>2</sub>O vilket härrör från den KOH som resolbindemedlet delvis utgörs av, medan sand B-Ny, B-Rest-1 och B-Rest-2 innehåller mer Na<sub>2</sub>O, vilket också det härrör från bindemedlet (natriumsilikat).

Glödningsförlusten sticker ut för sand D-Ny, D-Rest och F-Rest, vilket avspeglar bentonitlera (montmorillonit) som i sig utgörs av nästan 15 vikt-% kristallint bundet vatten. Det intressanta är att halten är densamma i D-Ny som i D-Rest, vilket indikerar att gjutningsprocessen inte påverkat lermineralen till den grad att de kalcinerats/dödbränts (dvs. mineralstruktur verkar bibehållen och kristallint bundet vatten har ej drivits ut). Halten C (kol) är högst i D-Ny och D-Rest, vilket avspeglar det sot som tillsätts bindemedlet. Även de andra sandtyperna innehåller relativt höga halter C, vilket härrör från de organiska bindemedlen. Det intressanta här är att halterna stort sett är de samma mellan respektive nysand (Ny) och pågjuten sand (Rest), vilket indikerar att temperatur och/eller syretillgång inte är tillräcklig för att bryta ner bindemedel till gasfas som kan avgå från sanden (de organiska komponenterna kan förstås ha genomgått övergång till annan fast fas). S ligger på låga nivåer, men viss mängd finns i sand E-Ny och E-Rest. Sannolikt härrör S från bindemedlet eller den syrahärdare som används tillsammans med detta.

**Tabell 2.7 Sammanställning totalkemisk analys av spårelement**

Sand	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	423	13,6	740	0,63	1,25	0,86	0,34	5,1
A-Rest	414	12,7	600	0,61	1,28	0,81	0,32	5,4
B-Ny	403	13,8	870	0,64	1,13	0,78	0,30	5,1
B-Rest-1	414	15,2	720	0,59	1,67	1,01	0,29	5,2
B-Rest-2	389	15,7	640	0,57	1,23	0,77	0,32	5,9
D-Ny	388	21,8	480	0,86	1,88	1,24	0,46	6,8
D-Rest	394	21,7	650	0,80	1,97	1,09	0,42	7,4
E-Ny	370	12,0	600	0,53	1,13	0,81	0,28	5,1
E-Rest	366	11,9	910	0,48	0,99	0,62	0,24	4,6
F-Rest	417	21,5	530	0,79	1,51	1,09	0,44	7,7

Sand	Gd	Ge	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	1,18	<5	3,5	0,29	9,3	0,15	3,2	7,6
A-Rest	1,09	<5	4,9	0,30	7,9	0,15	3,2	7,3
B-Ny	1,04	<5	2,6	0,26	8,3	0,13	3,4	7,4
B-Rest-1	1,20	<5	4,6	0,36	9,3	0,18	3,6	7,7
B-Rest-2	1,36	<5	3,6	0,27	8,8	0,13	3,4	7,2
D-Ny	1,66	<5	6,0	0,40	12,2	0,20	4,3	11,0
D-Rest	1,77	<5	6,3	0,42	12,6	0,20	4,6	10,3
E-Ny	0,94	<5	7,8	0,27	7,4	0,14	2,6	6,1
E-Rest	0,80	<5	7,4	0,25	7,6	0,11	3,0	6,3
F-Rest	1,55	<5	4,8	0,35	14,1	0,18	4,4	10,1

Sand	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	1,98	56,2	1,36	1	73,5	0,3	0,19	1,47
A-Rest	1,85	55,8	1,41	1	74,0	0,3	0,20	1,28
B-Ny	1,88	53,4	1,42	1	70,2	0,2	0,18	1,60
B-Rest-1	2,00	54,4	1,60	10	73,2	0,3	0,26	1,75
B-Rest-2	1,92	47,9	1,44	9	71,2	0,1	0,19	1,71
D-Ny	2,77	46,6	2,12	1	84,3	0,4	0,31	3,44
D-Rest	2,72	46,1	2,03	1	84,2	0,3	0,31	3,34
E-Ny	1,61	48,2	1,09	1	67,8	0,2	0,17	1,48
E-Rest	1,57	44,8	0,98	1	65,6	0,5	0,15	1,54
F-Rest	2,59	48,0	1,77	2	83,0	0,2	0,24	3,00

Sand	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr	As
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	0,14	0,57	9	38	8,3	0,97	142	0,3
A-Rest	0,15	0,60	13	30	8,0	0,92	196	0,4
B-Ny	0,13	0,56	<5	44	7,4	0,81	98	0,4
B-Rest-1	0,19	0,68	12	37	10,4	1,04	190	0,3
B-Rest-2	0,12	0,59	7	34	7,7	0,88	154	0,6
D-Ny	0,21	0,72	15	26	11,9	1,36	244	0,4
D-Rest	0,23	0,71	19	34	11,3	1,38	236	0,5
E-Ny	0,13	0,66	5	31	6,9	0,88	325	0,3
E-Rest	0,11	0,63	<5	48	6,4	0,76	317	0,4
F-Rest	0,19	0,59	8	29	10,6	1,00	193	<0,1

Sand	Bi	Hg	In	Re	Sb	Se	Te	Tl
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	0,02	<0,005	<0,005	0,002	0,11	0,2	<0,01	0,02
A-Rest	0,02	<0,005	<0,005	0,002	0,09	0,2	0,01	0,02
B-Ny	0,02	<0,005	<0,005	0,002	0,13	<0,2	0,01	0,02
B-Rest-1	0,04	0,005	<0,005	0,002	0,17	<0,2	0,01	0,02
B-Rest-2	0,05	<0,005	0,008	0,002	0,29	<0,2	<0,01	0,03
D-Ny	0,07	<0,005	0,008	0,001	0,11	0,2	0,01	0,03
D-Rest	0,05	<0,005	0,007	0,002	0,13	<0,2	0,01	0,03
E-Ny	0,06	<0,005	<0,005	0,001	0,11	<0,2	<0,01	0,04
E-Rest	0,05	0,005	<0,005	0,003	0,16	<0,2	0,01	0,04
F-Rest	0,02	<0,005	0,005	0,001	0,17	<0,2	<0,01	0,02



Sand	Ag	Cd	Co	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
A-Ny	<0,5	<0,5	2	4	<10	36	10	7	1	6
A-Rest	<0,5	<0,5	2	4	<10	29	9	7	1	9
B-Ny	<0,5	<0,5	2	5	<10	43	10	8	1	5
B-Rest-1	<0,5	<0,5	2	48	<10	34	8	76	1	40
B-Rest-2	<0,5	<0,5	1	50	<10	33	7	100	1	76
D-Ny	<0,5	<0,5	2	8	10	24	8	9	3	22
D-Rest	<0,5	<0,5	2	9	10	30	9	10	2	21
E-Ny	<0,5	<0,5	1	19	<10	28	9	6	1	13
E-Rest	<0,5	<0,5	2	20	<10	47	14	7	1	13
F-Rest	<0,5	<0,5	2	22	10	27	6	9	2	19

Kommentarer spårämnen: Vad gäller spårämnen är halterna relativt lika mellan de olika sandtyperna. Det kan noteras att även halten krom (Cr) är lika hög för alla testade sander och att den är mycket högre än för ren Baskarpsand, vilken enligt en tidigare gjord analys ligger på <20 ppm. Det kan inte uteslutas att krom från stålfatet har kontaminerat proverna vid malningssteget i provprepareringen. Kromhalten bör således provas ånyo och då använda agatfat vid malningen.

Andra spårämnen som avviker är tenn (Sn), där B-Rest-1 och B-Rest-2 ligger en faktor 10 högre i halt jämfört med övriga sander. Gjuteri B arbetar med olika mässinglegeringar, varför de högre tenn-halterna troligen härrör från metallrester efter gjutning. B-Ny har dessutom lika låg tennhalt som övriga sandtyper. Det samma gäller för koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn), där framförallt B-Rest-1 och B-Rest-2 har högre halter än B-Ny och övriga sander (ca en faktor 10 högre), vilket även här pekar på metallrester från mässinglegeringar.

Sand D har något högre halt av zink, sand E något högre halt av koppar och sand F-Rest något högre halt av både koppar och zink. Dock är halterna lika för Ny- och Rest-sand, varför dessa måste komma från ursprungssanden och/eller bindemedel vad gäller sand D och E. Eftersom sand F använts som blästersand av de produkter som gjutits med sanderna D och E, så har sannolikt Zn och Cu kommit med ned i denna.

### Kemisk analys – vattenlösliga sulfater och klorider

Innehåll av vattenlösligt sulfat och vattenlöslig klorid har provats enligt metoden SS-EN 1744–1. Två delprov á ca 500 g togs fram genom neddelning och torkades till konstant vikt i 110°C och skickades därefter för analys hos RISE Kemi, material och ytor. Sulfat och klorider analyserades på samma prov, där provet ligger i vattenbad i minst 24 timmar under omrörning. Därefter analyseras vattnet på halt urlakat sulfat och klorid.

Tabell 2.8 Resultat vattenlösligt sulfat och vattenlöslig klorid

Prov-ID	Egenskap	vikt%	Metod	vikt%
A-Ny	Vattenlöslig klorid, Cl-	<0,001	Vattenlösligt sulfat, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<0,001
A-Rest		<0,001		<0,001
B-Ny		<0,001		<0,001
B-Rest-1		0,01		<0,001
B-Rest-2		<0,001		<0,001
C-Rest		0,005		0,02
D-Ny		0,01		0,016
D-Rest		<0,001		0,016
E-Ny		<0,001		0,008
E-Rest		<0,001		0,009
E-Rest		0,003		0,02

Kommentarer till resultat: Enligt produktstandarden för ballast för betong, SS-EN 12620, ligger gränsvärdet för vattenlöslig klorid på  $\leq 0,01$  %, vilket alla analyserade material klarar. Material B-Rest-1 och D-Ny ligger precis på gränsvärdet. För dessa två material kan det vara önskvärt att initialt analysera med större frekvens, för att säkerställa att variationen inte är sådan att gränsvärde överskrids. För vattenlösligt sulfat ligger gränsvärdet i SS-EN 12620 på  $\leq 0,2$ . Samtliga sandtypen ligger under detta gränsvärde.

### Humus och fulvosyra

I naturballast kan det ibland förekomma organiskt material, som är oönskat att få med i betongblandningen då det kan förhindra eller fördröja härdningen. Vanligaste orsaken i naturballast är att man har missat med avbaningen och inte tagit bort tillräckligt av matjorden, som kan innehålla organiska ämnen som exempelvis grenar och rötter från växter. Därför testas ballast rutinmässigt med avseende på humus och fulvosyra.

Humus provas enligt den metod som beskrivs i SS-EN 1744–1 avsnitt 15.1 och syftar till att utesluta att det finns humus och/eller järn i provet. Fulvosyra (enligt metoden som beskrivs i SS-EN 1744–1 avsnitt 15.2) är en alternativ provning till humus. Denna provning är mer komplicerad och man väljer därför ofta den som steg två för att utesluta humus och/eller järn. Fulvosyratesetet reagerar inte på järn och är således bättre att använda i detta fall.

Material till humusprovet provbereddes enligt standard, det vill säga torkades till konstant vikt i 40°C och material >4 mm siktades bort. Humusprovning utförs

genom att en mängd natriumhydroxid (3 %) blandas med en mängd provmaterial i en behållare av förutbestämd storlek, varefter behållaren skakas ordentligt under en (1) minut. Provet får sedan stå i 24 timmar, varefter färgen på vätskan i provbehållaren jämförs med en referensvätska (standardvätska bestående av  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  och  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  i koncentrerad HCl). Ett *negativt* provsvar innebär att provvätskan är ljusare än referensvätskan, vilket indikerar att provet ej innehåller humus eller järn. Ett *positivt* provsvar innebär istället att provvätskan är mörkare än referensvätskan, vilket indikerar att provet innehåller humus och/eller järn. Provsvaret kan i vissa fall vara svårbedömt, ofta till följd av att olika vätskor inte bara får olika mörka eller ljusa nyanser, utan även olika kulörer.

Fulvosyra är nästa steg för humusprov, där man blandar sandprovet med utspädd saltsyra. Provet får stå i 4 timmar, varefter lösningen filteras och man tillsätter tennklorid ( $\text{SnCl}_2$ ). Tennklorid tillsätts för att reducera trevärt järn (oxidationstal +III), som ger en mörk lösning, till tvåvärt järn (oxidationstal +II) som är färglös. Genom detta förfarande har man tagit bort felkällan med järn och ska bara få utslag för eventuell fulvosyra. Provet fylls sedan upp med saltlösningen och provet jämförs med samma referensvätska som används för humus och noterar som lösningen är ljusare eller mörkare.

Tabell 2.9 redovisar resultaten från humus- och fulvosyraprovning på samtliga sandtyper, där *negativt* prov indikerar att provets vätska är ljusare än referensvätskan, och *positivt* prov indikerar att provets vätska är mörkare än referensvätskan.

**Tabell 2.9 Resultat från humustest på samtliga åtta sandtyper**

Providentitet	Resultat Humus	Resultat Fulvosyra
A-Ny	Negativt prov	-
A-Rest	Negativt prov*	-
B-Ny	Negativt prov	-
B-Rest-1	Negativt prov*	Negativt prov
B-Rest-2	Negativt prov	-
C-Rest	Positivt prov*	Ej provat
D-Ny	Negativt prov	-
D-Rest	Negativt prov	-
E-Ny	Negativt prov*	Negativt prov
E-Rest	Positivt prov*	Negativt prov
F-Rest	Negativt prov*	-

\*Provsvaret var svårbedömt till följd av olika kulörer på provets vätska och referensvätskan. Skillnaden upplevs dock bara marginell i jämförelse med referensvätskan.



Figur 2.5 Exempel för provning av humus. Här visas Prov E-Ny och E-Rest i jämförelse med referenslösning längst till vänster.



Figur 2.6 Exempel för provning av humus. Här visas Prov B-Ny och B-Rest i jämförelse med referenslösning längst till vänster.

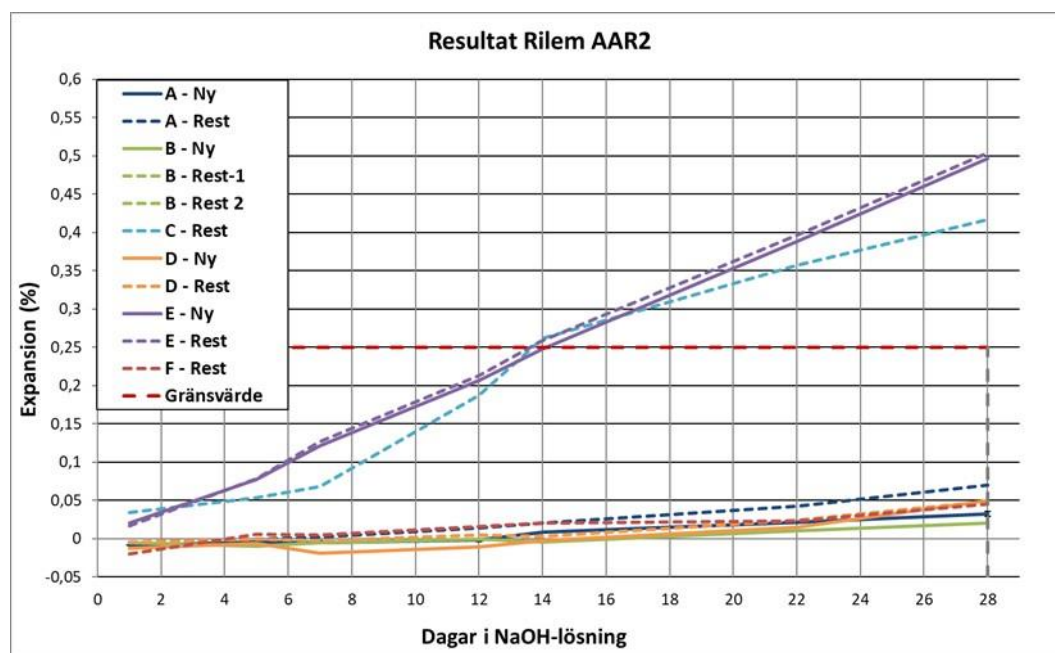
Kommentarer till resultat: Även om några prover var gränsfall, så gav provningen negativt utslag vad gäller såväl humus som fulvosyra.

### Alkalikiselsyrareaktivitet – ASR

ASR är en reaktion som kan uppstå i betong mellan löslig kiseldioxid (silika,  $\text{SiO}_2$ ) i ballast, alkalier (från cement, vissa ballasttyper och tölsalter) och vatten. Finns

dessa tre så kan det med tid bildas vattenabsorberande alkali-silika-gel i och runt ballastkorn; denna gel tar plats (större volym än reaktanterna) och kan vid svällningen orsaka sprickor i betongen, vilket i sin tur kan reducera betongens hållfasthet, men också skapa vägar för andra problem så som frys-tö-skador, snabbare karbonatisering och ökad inträngning av klorider. Lättlöslig kiseldioxid i ballasten utgörs i Sverige generellt av mikrokristallin kvarts i mycket finkorniga bergarter (t.ex. mylonit, metaryolit, metagråvacka och flinta, där den senare är mycket reaktiv och utgörs av mikrokristallin till kryptokristallin kvarts). En av de grundläggande metoder som används för att testa om en ballast är potentiellt alkalisilikareaktiv, är genom RILEM AAR 2 som utgår från expansionsmätning av bruksprismor.

Ett prov om 1350 g sand delas ner från en på 0,063 mm-sikt tvättad 0,125/4-sortering och torkas till konstant vikt i 110°C. Till sanden tillsätts 600 g cement och 282 g vatten och blandas enligt ett specifikt utförande. Det resulterande bruket gjuts till tre prismor (40x40x160 mm<sup>3</sup>). Prismorna avformas efter ett dygn, mäts och vägs, samt placeras därefter i vatten och förvaras i 80°C. Efter 1 dygn i vatten så mäts prismorna igen och placeras därefter i NaOH-lösning (1 %) i 80°C. Under 28 dygn mäts prismornas längsta dimension med mätklocka enligt ett schema och eventuell (longitudinell) expansion visar sig. Gränsvärdet för expansion ligger på 0,25 %.



Figur 2.7 Resultat expansionsmätning enligt Rilem AAR 2.

Tabell 2.10 Resultat Rilem AAR 2

Providentitet	Dagar i NaOH-lösning (expansion visas i %)						
	1	4	7	11	14	21	28
A-Ny	-0,009	-0,004	-0,005	-0,002	0,008	0,021	0,032
A-Rest	-0,005	-0,001	0,002	0,014	0,020	0,042	0,070
B-Ny	-0,005	-0,010	-0,005	-0,001	-0,004	0,010	0,020
B-Rest-1*	-	-	-	-	-	-	-
B-Rest-2*	-	-	-	-	-	-	-
B-Rest-3**	-	-	-	-	-	-	-
C-Rest	0,034	0,053	0,068	0,187	0,262	0,357	0,417
D-Ny	-0,013	-0,006	-0,019	-0,011	-0,003	0,015	0,050
D-Rest	-0,004	-0,001	-0,003	0,005	0,003	0,024	0,049
E-Ny	0,020	0,077	0,121	0,207	0,248	0,388	0,496
E-Rest	0,017	0,078	0,127	0,213	0,259	0,396	0,504
F-Rest	-0,02	0,006	0,005	0,016	0,02	0,023	0,045

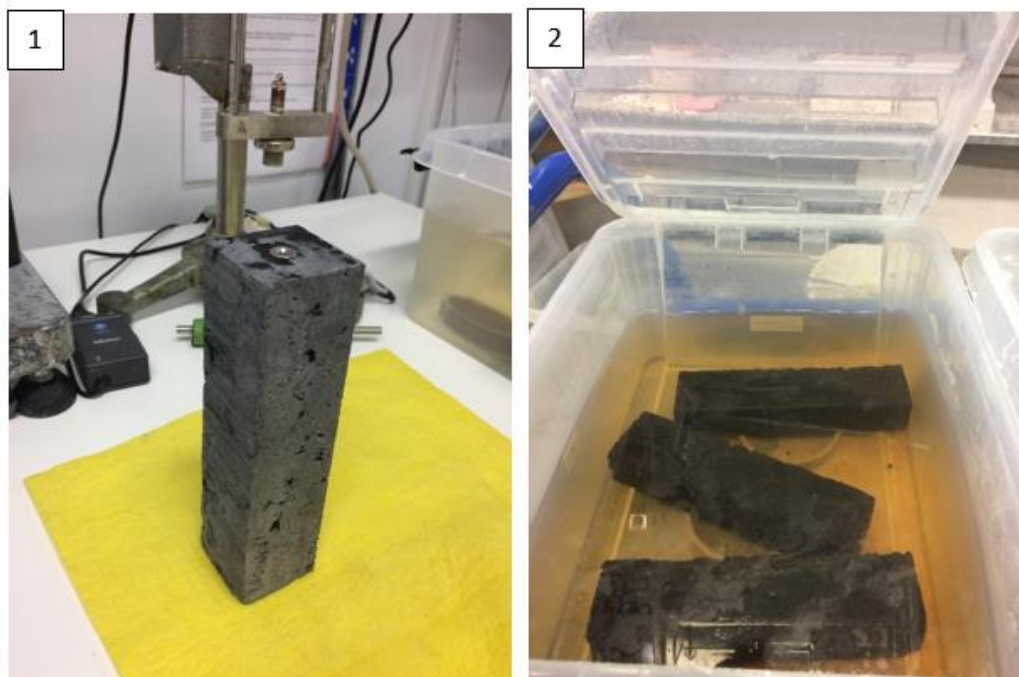
\*Prov härdade ej

\*\* Ej provad

Kommentarer till resultat: Enligt SS 137003 – Användning av SS-EN 206 i Sverige – får inte ballast som ska användas till betong orsaka en bruksexpansion som överstiger gränsvärdet 0,25 %. RILEM AAR 2 är en snabb och en aggressiv metod, och finns det något i ballasten som kan reagera och expandera så kommer det att göra det. Material som underkänds i RILEM AAR 2 kan provas vidare med provningar som bättre avspeglar tänkt användning i betong, t.ex. med RILEM AAR 3, där man provar på en betongsammansättning och provningen pågår i 1 år. Av här undersökta material var det tre stycken som orsakade expansion över gränsvärdet. Det ska dock påpekas att i genomförda RILEM AAR 2-tester användes ballast som till 100 % bestod av gjuterisand. Om sanden används i betong (eller bruk) men i lägre ersättningsgrad, t.ex. 10–20 % av den totala ballastmängden, så kan de tre sandtyper som inte klarade RILEM AAR2-testet eventuellt ändå klara kravbilden.

Anledningen till att bruk baserad på sand E-Ny och E-Rest expanderar ligger sannolikt i bindemedlet och inte i ursprungssanden. Den senare utgörs av Baskarpssand, vilken inte uppvisat tendenser till alkali-silika-reaktivitet tidigare. Bindemedlet utgörs av furanharts, vilken i sin tur består av bl.a. fenoler och furfurylalkohol. Furanhartsen härdas med hjälp av en syrahärdare, i aktuellt fall med para-Toluensulfonsyra (pTSA). Sannolik orsak till expansionen är någon form av kemisk reaktion när det sura bindemedlet utsätts för den starkt alkaliska miljön i cementpastan (pH > 13). Det är sannolikt samma reaktion som noterades för E-Ny och E-Rest vid bubbeltestet (se resultat från det testet).

Orsaken till expansion av bruk baserad på sand C-Rest är inte helt klar, eftersom endast begränsad uppsättning andra analyser gjordes på den sanden under karaktäriseringen. Orsaken kan återfinnas i bindemedlet, men eftersom man använt annan ursprungssand än de andra gjuterierna i projektet så kan orsaken även ligga i denna. C-Rest baseras på blandning av Baskarpsand, zirkonsand och sand från Danmark och Belgien. Det är inte osannolikt att de senare två innehåller komponenter som i betong är alkali-silika-reaktiva, t.ex. mikrokristallin kvarts eller flinta.



Figur 2.8. Foton från provning av ASR RILEM AAR 2: 1 Enskild prisma 2 Behållare med tre prismor i NaOH-lösning. Prismorna har färgat lösningen.

### Petrografisk sammansättning – polarisationsmikroskopi

Sanden analyserades med avseende på innehåll av mineral och andra komponenter, med hjälp av s.k. tunnslip i optiskt transmissionsmikroskop. Ett tunnslip är ett preparat av mineralbaserat material (t.ex. bergart eller betong), som är så tunt så att det är genomsläppligt för ljus (transmissivitet). Ett tunnslip framställs genom att vald del av materialet limmas mot en glasskiva med epoxy. När det som i föreliggande fall rör sig om fria partiklar måste dessa först gjutas in i epoxy i en burk, varefter en skiva av härdad epoxy med ingjutna sandpartiklar sågas ut och limmas mot glasskiva. Provet sågas och slipas därefter ned till en tjocklek om ca 30  $\mu\text{m}$ , samt impregneras med fluorescerande epoxy som fördelar sig i alla otätheter i provet, exempelvis sprickor och porer. Slutligen monteras ett tunt täckglas. Tunnslipet genomlyses därefter med planpolariserat ljus i optiskt transmissionsmikroskop. Med hjälp av olika filter är det möjligt att identifiera olika mineral, baserat på deras unika optiska

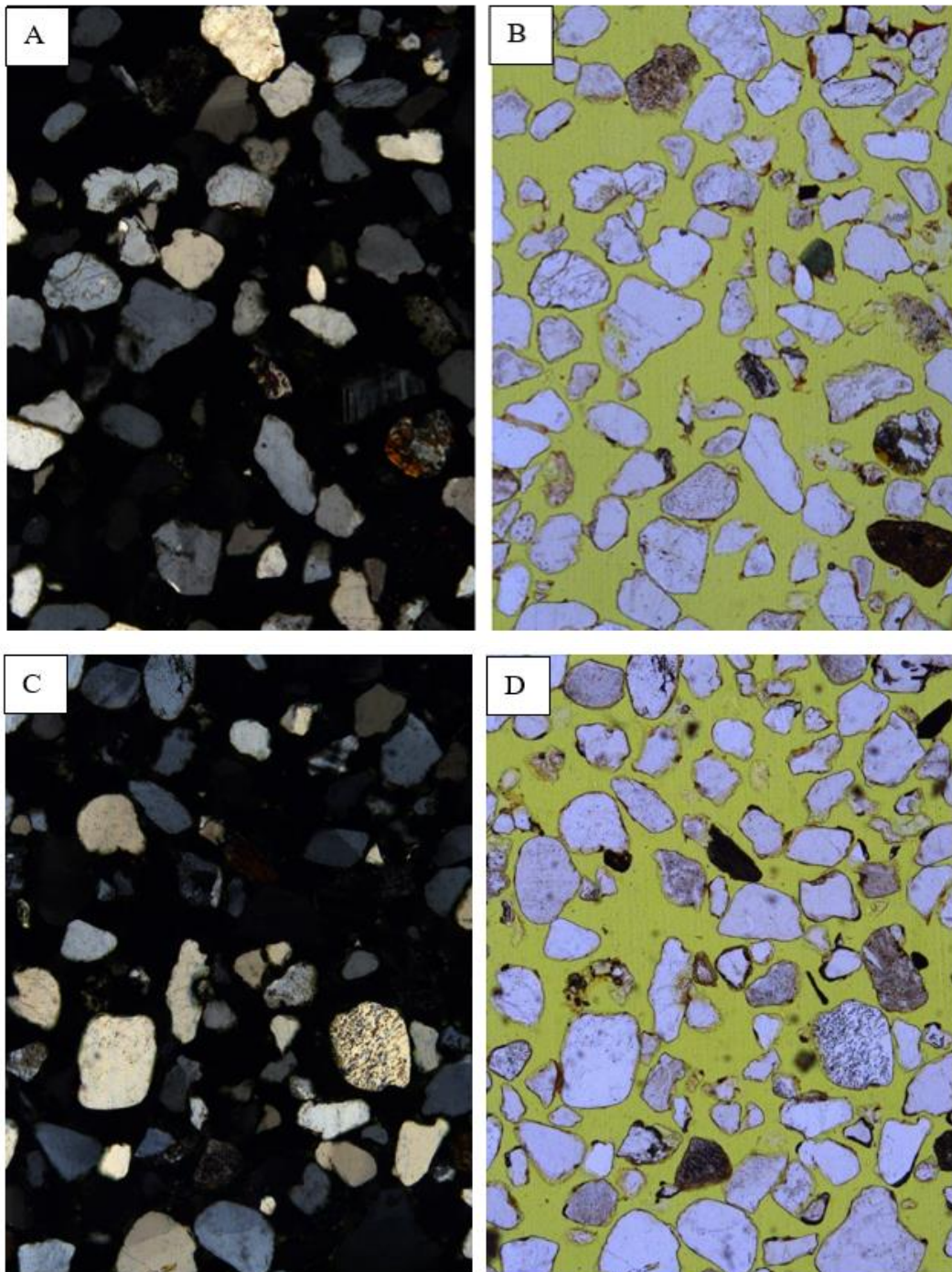
egenskaper. Utöver mineralinnehåll kan andra aspekter också studeras, så som sandkornsform, mineralkornstorlek, förekomst av aggregatbildning, sintring eller rester av bindemedel och/eller metall.

För varje sandprov framställdes ett tunnslip enligt metoden ovan och nedan följer beskrivningar och detaljbilder från samtliga, fotograferade vid 50 gångers förstoring med hjälp av optiskt polarisationsmikroskop, med respektive utan analysator. Bildrutorna är ca 2,5 x 1,8 mm stora. Observera att kulörena i bilderna inte avspeglar kulören hos sanden så som den ter sig vid okulär granskning. *Kalifältspat* utgörs generellt av mikroklin (en av tre polymorfer). *Opaka mineral* är sådana som inte släpper igenom ljus, varför de blir helt svarta oavsett vilka filter som används och kan därför inte identifieras med transmissionsmikroskopi. Typiska opaka mineral är olika oxider, sulfider och rena metaller.



## A- Ny och A-Rest

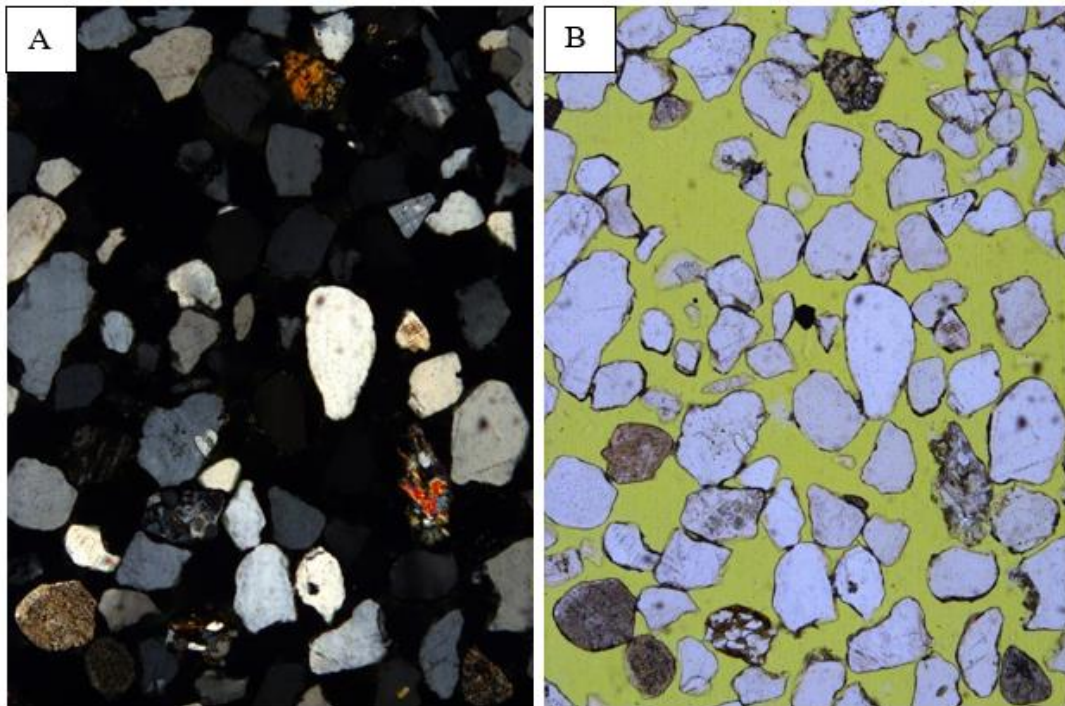
Sand A-Ny samt A-Rest utgörs mineralogiskt i huvudsak av kvarts, kalifältspat och plagioklas. Underordnat förekommer biotit, amfibol/pyroxen, epidot, titanit samt opaka mineral. Andelen kvarts och fältspater gentemot andelen amfibol/pyroxen, epidot, titanit samt opaka mineral är något lägre i sand A-Rest jämfört med A-Ny. Kvarts uppvisar i stor utsträckning både undulös utsläckning samt subkornbildning. En låg andel K-fältspat uppvisar tartantvillingar. Plagioklas uppvisar ställvis albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad. Övervägande del av kornen består av enskilda mineral (85–90%), medan en mindre mängd utgörs av bergartsfragment (10–15%). Rester av bindemedel och/eller smältnas i form av en svagt brun eller svart rand runt kornen är relativt vanligt förekommande. En mindre andel korn är till synes bundna till varandra med bindemedel (aggregatbildning). Sanden är jämnkornig med en minsta kornstorleken på ca 0,05 mm och största kornstorlek på 0,5 mm. Medelkornstorlek är ca 0,1 mm. Kornen är mestadels anhedrala med rund kornform och rundade ytor. Ställvis förekommer även elongerade korn.

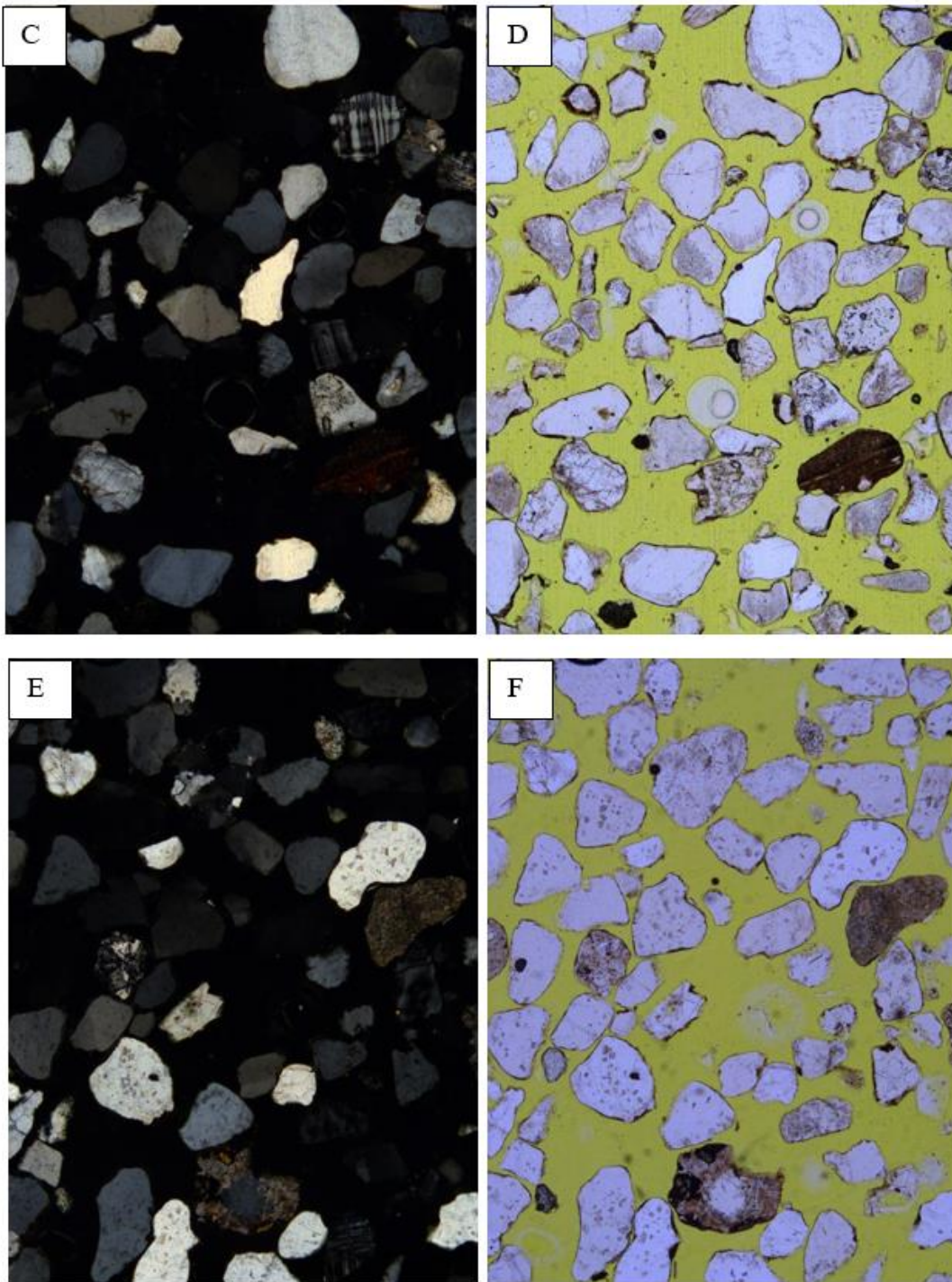


**Figur 2.9. Foton från tunnslip av prov A-Ny (bild A och B) och A-Rest (bild C och D). De vänstra bilderna är tagna med analysator, de högra bilderna utan analysator.**

## B-Ny, B-Rest-1 och B-Rest-2

Sand B-Ny samt B-Rest utgörs mineralogiskt i huvudsak av kvarts, kalifältspat och plagioklas. Underordnat förekommer amfibol/pyroxen, epidot och titanit. Opaka mineral och biotit förekommer, men endast som ett fåtal spridda korn. Andelen kvarts och fältspater gentemot andelen amfibol/pyroxen, epidot, titanit samt opaka mineral är något lägre i B-Rest-1 jämfört med i B-Ny och B-Rest-2. Kvarts uppvisar i stor utsträckning både undulös utsläckning och subkornbildning. En låg andel kalifältspat uppvisar tartantvillingar. Plagioklas uppvisar ställvis albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad. Övervägande del av kornen består av enskilda mineral (85–90%), medan en mindre mängd utgörs av bergartsfragment (10–15%). Bindemedel och/eller smältnas i form av en mörkt brun eller svart rand runt kornen är relativt vanligt förekommande. En mindre andel korn är till synes bundna till varandra med bindemedel (aggregatbildning). Sanden är jämnkornig med en minsta kornstorlek på 0,06 mm och största kornstorlek på 0,5 mm för B-Ny samt B-Rest-2 och 0,6 mm för B-Rest-1. Medelkornstorlek är ca 0,1 mm. Kornen är mestadels anhedrala med rund kornform och rundade ytor. Ställvis förekommer även elongerade korn. I sand B-Rest-2 finns även en del kantigare korn.

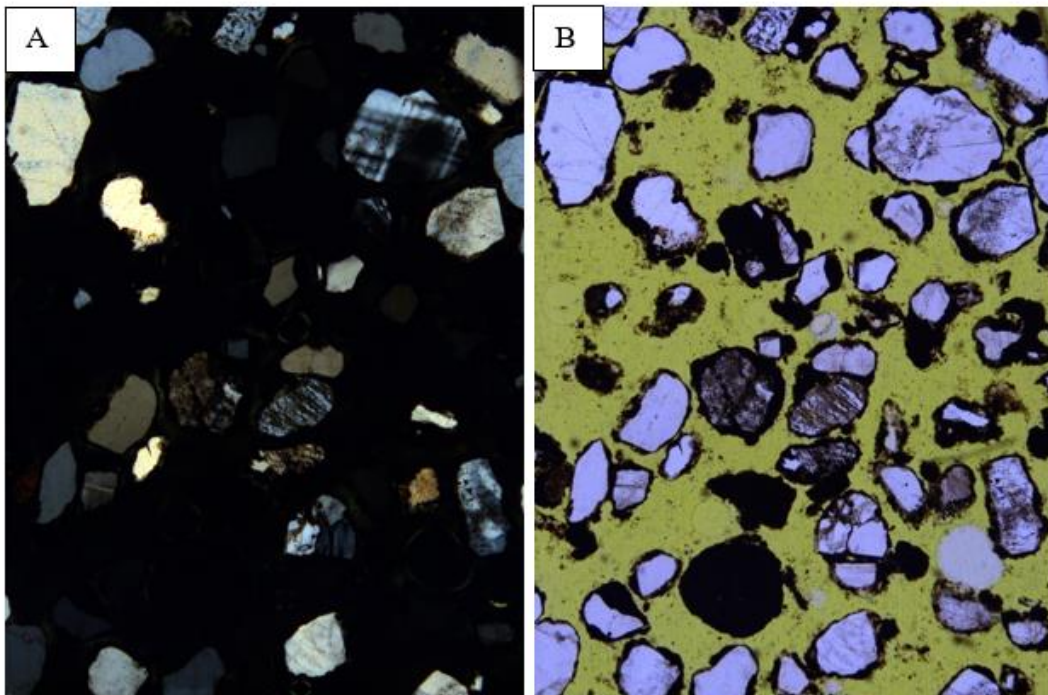


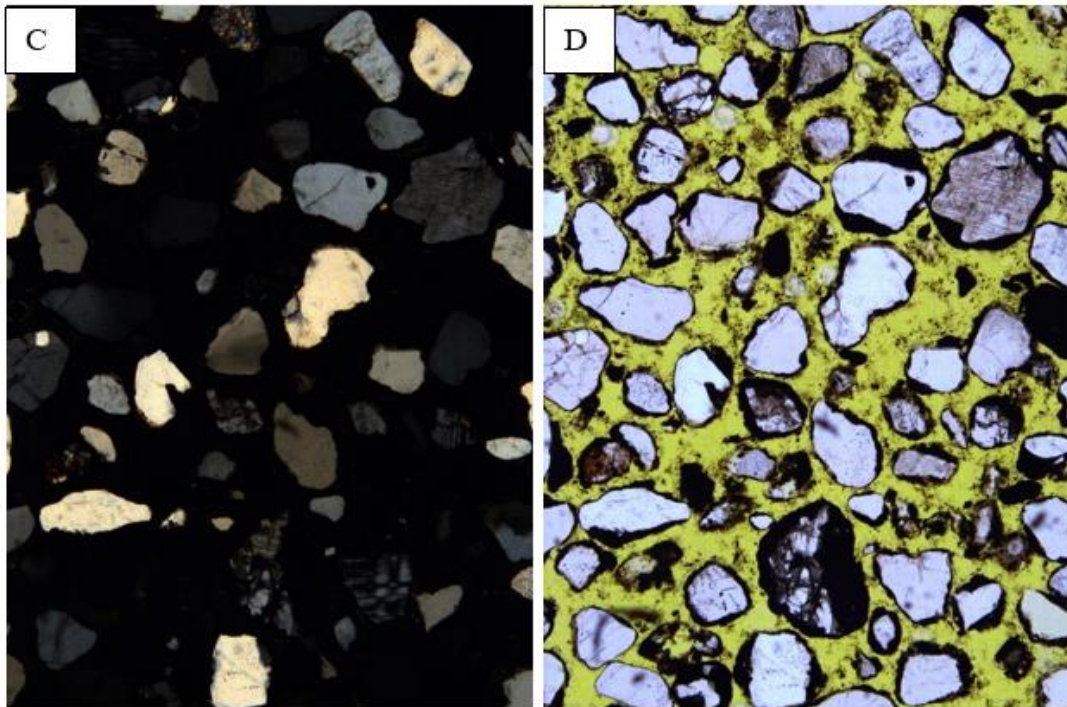


Figur 2.10. Foton från tunnslip av prov B-Ny (bild A och B), B-Rest-1 (bild C och D) och B-Rest-2 (bild E och F). De vänstra bilderna är tagna med analysator, de högra bilderna utan analysator.

## D-Ny och D-Rest

Sand D-Ny samt D-Rest utgörs mineralogiskt i huvudsak av kvarts, kalifältspat och plagioklas. Underordnat förekommer spridda korn av amfibol/pyroxen, epidot, titanit, biotit och muskovit. Opaka mineral är till synes vanligt förekommande, men mycket av det opaka materialet utgörs troligtvis av rester av bindemedel och/eller smältfas. Andelen opaka mineral samt övriga faser gentemot kvarts och fältspater upplevs något högre i sand D-Rest jämfört med i D-Ny. Kvarts uppvisar i stor utsträckning både undulös utsläckning och subkornbildning. En låg andel kalifältspat tartantvillingar. Plagioklas uppvisar ställvis albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad. Övervägande del av kornen består av enskilda mineral (90–95%), medan en mindre mängd utgörs av bergartsfragment (5–10%). Rester av bindemedel och/eller smältfas i form av en kraftig, mörkt brun eller svart rand förekommer runt i stort sett samtliga korn. En hög andel korn är till synes bundna till varandra med bindemedel (aggregatbildning). Sanden är jämnkornig med en minsta kornstorleken på 0,05 mm och största kornstorlek på 0,4 mm. Medelkornstorlek är ca 0,1 mm. Kornen är mestadels anhedrala med rund kornform och rundade ytor. Ställvis förekommer även elongerade och/eller mer kantiga korn.

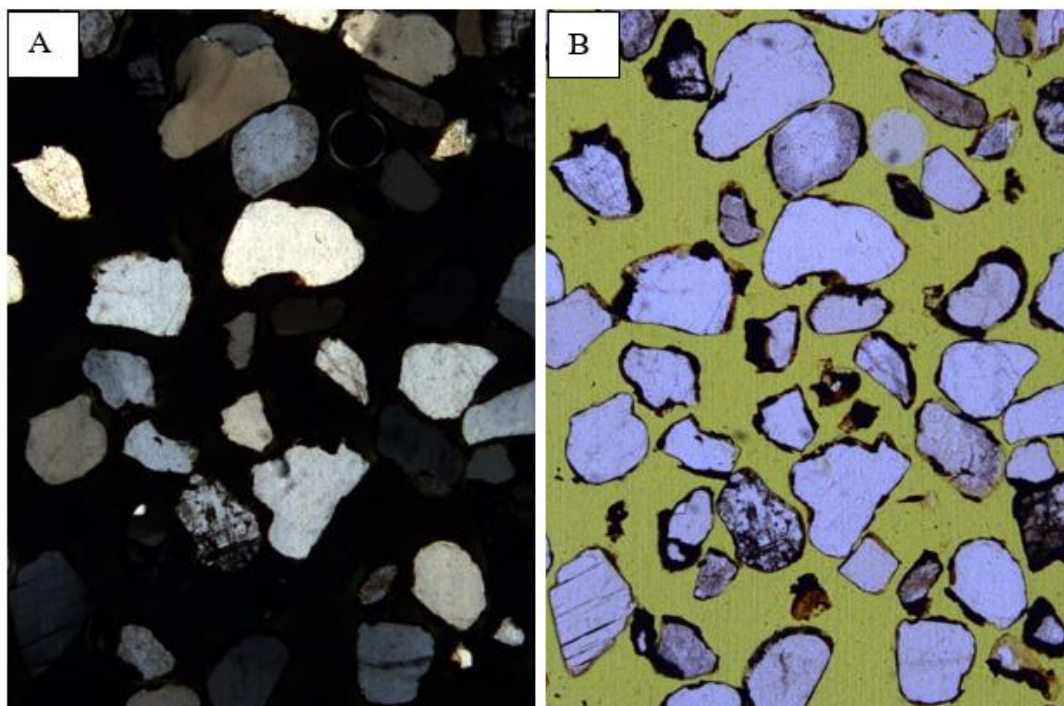


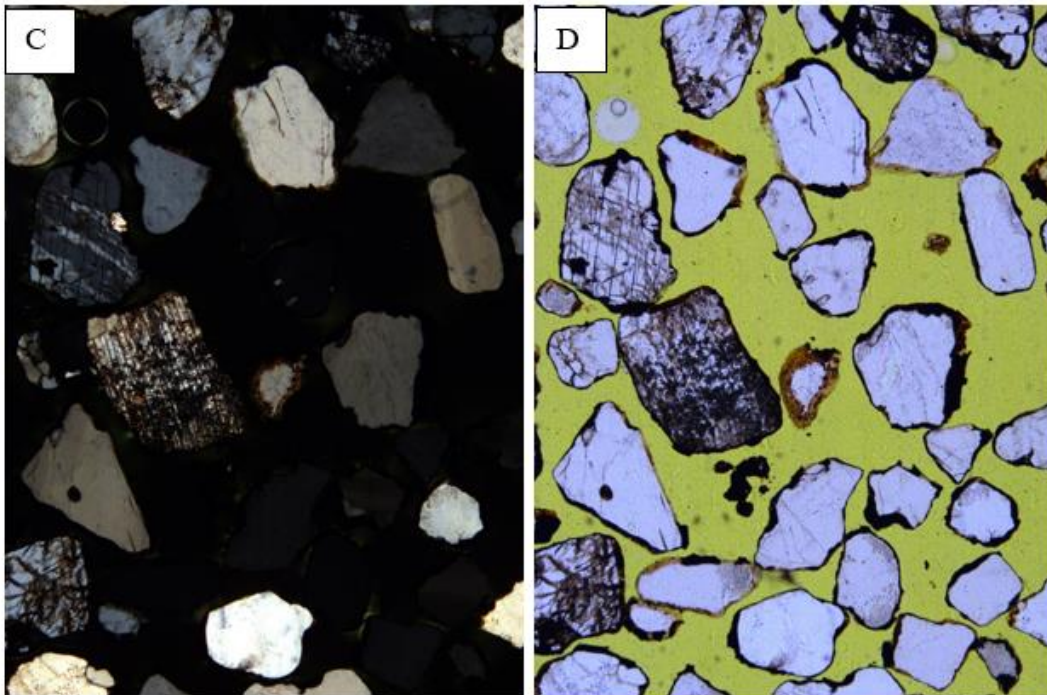


Figur 2.11. Foton från tunnslip av prov D-Ny (bild A och B) och D-Rest-1 (bild C och D). De vänstra bilderna är tagna med analysator, de högra bilderna utan analysator.

## E-Ny och E-Rest

Sand E-Ny samt E-Rest utgörs mineralogiskt i huvudsak av kvarts, kalifältspat och plagioklas. Underordnat förekommer spridda korn av amfibol/pyroxen, epidot, titanit, biotit och muskovit. Opaka mineral är till synes vanligt förekommande, men mycket av detta opaka material utgörs troligtvis av rester av bindemedel och/eller smältfas. Andelen opaka mineral samt övriga faser gentemot kvarts och fältspater upplevs något högre i sand E-Rest jämfört med i E-Ny. Kvarts uppvisar i stor utsträckning både undulös utsläckning och subkornbildning. En låg andel kalifältspat uppvisar tartantvillingar. Plagioklas uppvisar ställvis albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad. Övervägande del av kornen består av enskilda mineral (75%), men en jämförelsevis ansevärd mängd utgörs av bergartsfragment (25%). Rester av bindemedel och/eller smältfas i form av en kraftig, mörkt brun eller svart rand förekommer runt en hög andel korn i sand E-Ny, och runt i stort sett varje korn i sand E-Rest. En hög andel korn är till synes bundna till varandra med bindemedel (aggregatbildning). Båda sandtyperna är jämnkorniga med en minsta kornstorleken på 0,06–0,07 mm. För sand E-Ny är den största kornstorleken 1,0 mm och medelkornstorleken är ca 0,4 mm. För sand E-Rest är den största kornstorleken 1,1 mm och medelkornstorleken är ca 0,4 mm. Kornen är mestadels anhedrala med rund kornform och rundade ytor. Ställvis förekommer även elongerade och/eller mer kantiga korn.



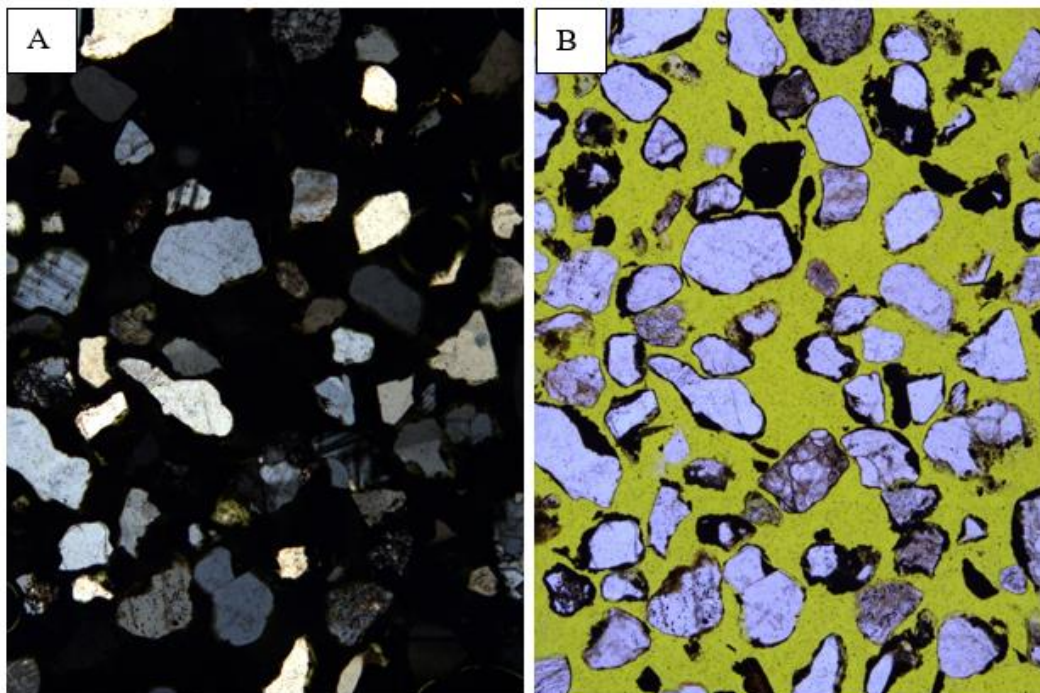


Figur 2.12. Foton från tunnslip av prov E-Ny (bild A och B) och E-Rest-1 (bild C och D). De vänstra bilderna är tagna med analysator, de högra bilderna utan analysator.



## F-Rest

Sand F-Rest utgörs mineralogiskt i huvudsak av kvarts, kalifältspat och plagioklas. Underordnat förekommer spridda korn av amfibol/pyroxen, epidot, titanit, biotit och muskovit. Opaka mineral är till synes mycket vanligt förekommande, men mycket av detta opaka material utgörs troligtvis av rester av bindemedel och/eller smältfas. Kvarts uppvisar i stor utsträckning både undulös utsläckning samt subkornbildning. En låg andel kalifältspat uppvisar tartantvillingar. Plagioklas uppvisar ställvis albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad. Övervägande del av kornen består av enskilda mineral (85–90%), medan en mindre mängd utgörs av bergartsfragment (10–15%). Rester av bindemedel och/eller smältfas i form av en kraftig, mörkt brun eller svart rand förekommer runt en mycket hög andel korn. En del korn är till synes bundna till varandra med bindemedel (aggregatbildning). Sanden är jämnkornig med en minsta kornstorlek på 0,06 mm och största kornstorlek på 0,5 mm. Medelkornstorlek är ca 0,1 mm. Kornen är mestadels anhedrala med rund kornform och rundade ytor. Ställvis förekommer även elongerade och/eller mer kantiga korn.



**Figur 2.13. Foton från tunnslip av prov F-Rest (bild A och B). Bild A är tagen med analysator, bild B utan analysator.**

Kommentar till resultat: Rent mineralogiskt är samtliga undersökta sandtyper mycket lika varandra, då de domineras av kvarts och fältspater, medan biotit, muskovit, amfibol/pyroxen, epidot, titanit och opaka mineral är underordnade. Även kornstorlek, kornstorleksfördelning och kornform är i mångt och mycket densamma, där sandtyperna är jämnkorniga med övervägande andel runda och rundade korn, med ställvis elongerade och/eller kantiga korn. Vanligast förekommande är

individuella mineralkorn, men inte sällan finns det även en betydande andel bergartsfragment; för sand D (ny och rest) 5–10%, sand A (ny och rest), B (ny och rest) och F (Rest) 10–15 % och sand E (ny och rest) upp till 25% bergartsfragment. Medelkornstorleken för samtliga sandtyper är ca 0,1–0,2 mm. Gemensamt för samtliga sandtyper är också att kvarts i stor utsträckning uppvisar både undulös utsläckning samt subkornbildning, att en mindre andel kalifältspat uppvisar tartantvillingar, samt att plagioklas ställvis uppvisar albittvillingar och är delvis sericit- och/eller saussuritomvandlad.

Rester av bindemedel förekommer i samtliga prover, men i särskilt hög andel i sandtyperna D-Ny, D-Rest, E-Ny, E-Rest och F-Rest. Bindemedlet framträder som en kraftig, mörkt brun eller helt svart (opak) rand runt mineralkorn eller till synes som hela korn, och har även en förmåga att binda korn till varandra. Då flera av bindemedelsresterna verkar vara opaka i tunnslip under mikroskop är det i många fall svårt att skilja på opaka mineral (oxider och/eller sulfider) och bindemedel.

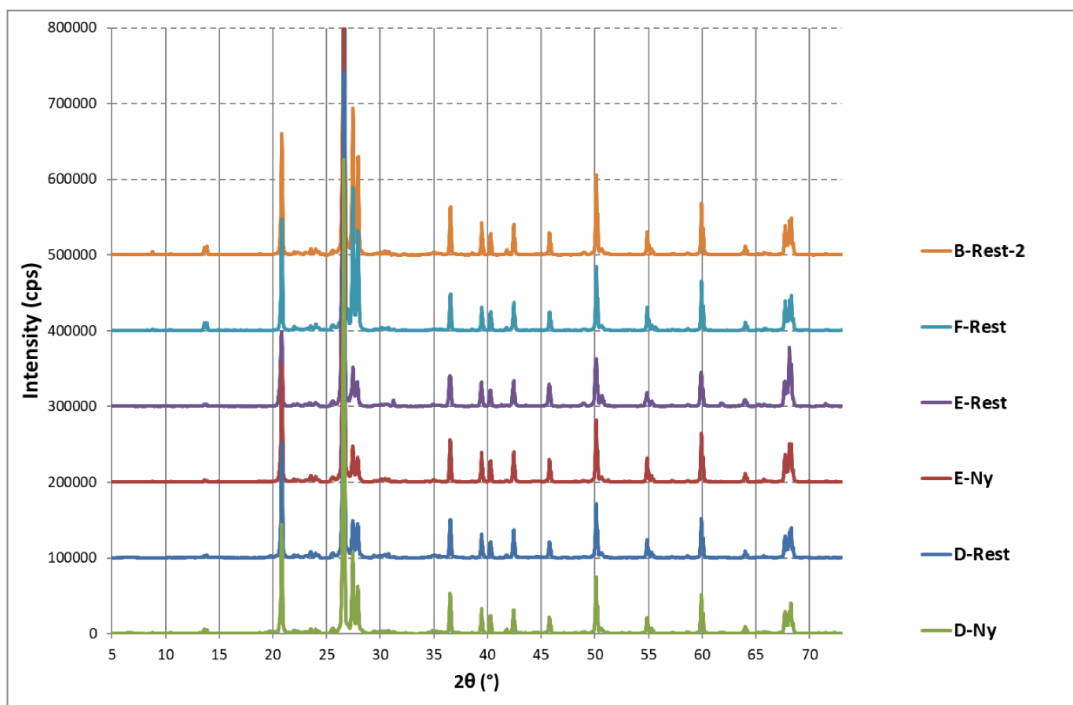
Vid jämförelse mellan ”ny sand” och ”restsand” är den enda påtagliga skillnaden att andelen underordnade mineral (biotit, muskovit, amfibol/pyroxen, epidot, titanit och opaka mineral) upplevs ha ökat något gentemot andelen kvarts och fältspat i ”restsanden” jämfört med ”ny” sand från samma gjuteri. Möjligen skulle detta kunna bero på att återvinningsproceduren inom gjuteriet är mer anpassat till att omhänderta och återföra kvarts och fältspat, jämfört med något tyngre mineral.

### **Petrografisk sammansättning – röntgendiffraktion**

Som komplement till den petrografiska analysen har sand B-Rest-2, D-Ny, D-Rest, E-Ny, E-Rest och F-Rest karakteriserats med hjälp av röntgendiffraktion (XRD), i syfte att undersöka eventuella skillnader vad det gäller kristallina faser i dessa.

Ett representativt prov för ovan nämnda material togs ut med hjälp av neddelning, varefter materialet maldes till ett mycket fint pulver. Ett prov på något grams storlek togs ut och monterades i provhållare i en röntgendiffraktometer av märket Rigaku Miniflex 600. Materialet bestrålades därefter med monokromatiskt röntgenljus av våglängden 1,5418 Å (kopparfilament), alltmedan provhållare och detektor kontinuerligt och automatiskt flyttades för att fånga upp eventuella röntgenstrålar. Provet analyserades på detta sätt stegvis i 2 $\theta$ -spannet 3–73° med en hastighet av 3°/minut. Analysdata bearbetades med mjukvaran PDXL och databasen ICDD (PDF-4+ 2017 RDB).

Resultatet synliggörs med ett diffraktogram uppbyggt av ett antal toppar (”peakar”), se Figur 2.14 nedan. Peakarnas placering på x-axeln avgörs av vid vilka vinklar 2 $\theta$  som de olika kristallina materialen i provet ger konstruktiv interferens vid diffraktion och varje given vinkel avspeglar ett avstånd  $d$  mellan olika karaktäristiska gitterplan i mineralens kristallstruktur. Dessa  $d$ -avstånd och hur dominerande de är gör att olika kristallina faser (t.ex. mineral) kan identifieras och i viss utsträckning också kvantifieras.

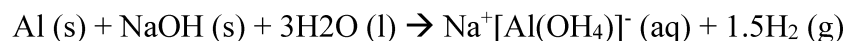


Figur 2.14 Diffraktogram från analys med röntgendiffraktion för samtliga analyserade prover.

Kommentarer till resultat: Resultaten från analys med hjälp av röntgendiffraktion visar en god korrelation till resultaten från den petrografiska analysen, nämligen att grundammansättningen i samtliga analyserade sandtyper är densamma med avseende på ingående mineral, med i huvudsak kvarts, fältspater och glimmer (främst biotit) i varierande halter. Någon kvantifiering av XRD-resultatet har ej gjorts. Rester av bindemedel och metaller förekommer inte i tillräckliga halter för att ge utslag i diffraktogrammen.

### Innehåll av amfotära metaller med s.k. ”bubbeltest”

Amfotära metaller är sådana metaller som har egenskapen att kunna reagera såväl som bas som en syra. I alkalin miljö bildar dessa metallhydroxid, varpå även vätgas bildas. Detta kan leda till att den färska betongen vid gjutning pöser upp och får en oönskad porös struktur. Typiska amfotära metaller är aluminium, zink, tenn och mässing. Exempel på aluminium i alkalin lösning:



”Bubbeltest” är ett kvalitativt test med syfte att upptäcka reaktioner som bildar gas och utförs genom att ett sandprov placeras i en rundkolv, varefter NaOH-lösning (1%) tillförs tills sandprovet är helt täckt samt att det finns gott om NaOH-lösning ovanför sandprovet. Ett *positivt* provsvar indikeras av att det kommer bubblor från sanden och upp genom NaOH-lösningen. Ett *negativt* provsvar indikeras istället av

att det ej förekommer några bubblor. Materialet testades som de levererades, dvs ej malt, tvättat eller torkat i torkskåp.

Tabell 1.4.5 Resultat ”bubbeltest”

Prov-ID	Resultat	Kommentar
A - Ny	Negativt prov	Inga bubblor
A - Rest	Negativt prov	Inga bubblor
B - Ny	Negativt prov	Bildas ett fåtal bubblor, men stiger ej av sig själva
B - Rest	Negativt prov	Bildas ett fåtal bubblor, men stiger ej av sig själva
B - Rest 2	Negativt prov	Bildas ett fåtal bubblor, men stiger ej av sig själva
C- Rest	Positivt prov	Lite småbubblor
D - Ny	Positivt prov	Lite småbubblor
D- Rest	Positivt prov	Enstaka bubblor
E - Ny	Positivt prov	Många stora bubblor
E - Rest	Positivt prov	Många småbubblor (se figur 2.15)
E - Rest	Positivt prov	Lite småbubblor



**Figur 2.15 "Bubbelprov" (Prov E-rest)**

Kommentarer till resultat: Provnings syftar till att identifiera förekomst av amfotära metaller (tex aluminium, mässing, zink), som bildar hydroxider och frigör vätegas. Då sanden används till gjutning av ex aluminium så är det troliga att det är rester från gjutning som bildar bubblor. Den enda sand som uppvisade större mängd bubblor (indikativ för  $H_2$  som avges vid den förväntade reaktionen mellan metall och vatten) var E-Ny och E-Rest. Dessa sander reagerade också på den starkt alkaliska miljön i bruk, med expansion och sprickbildning som resultat. Eftersom nysanden inte förväntas innehålla metallrester, så ligger förklaringen sannolikt i bindemedlet. I E-Ny och E-Rest utgörs bindemedlet av furanharts, vilken i sin tur består av bl.a. fenoler och furfurylalkohol. Furanhartsen härdas med hjälp av en syrahärdare, i aktuellt fall med para-Toluensulfonsyra (pTSA). Sannolik orsak till expansionen är någon form av kemisk reaktion när det sura bindemedlet utsätts för den starkt alkaliska miljön i cementpastan ( $pH > 13$ ).

### 3 Provning av bruk med gjuterisand som ballast

Efter ballastprovningar och innan man börjar med större betongprovningar, så är det lämpligt att prova sanden i bruk (cement, vatten och ballast  $\leq 2$  mm). På detta sätt kan man tydligare se om och hur sanden eller komponenter i denna påverkar cementpastan.

#### *Bruksprovningar för tryckhållfasthet*

Varje sand testades enligt ett specifikt recept, som definieras i standarden SS-EN 196-1 (Cement – Provning - Del 1: Bestämning av hållfasthet). Enligt detta ska vatten-cement-talet (vct) vara 0,5 och bruket innehålla 1350 g sand och 450 g cement. Cement som användes var Skövde bygg (CEM II/A-LL 42,5 R). Sanden i vardera bruksblandningen utgjordes av 50% gjuterisand, medan resterande 50% var s.k. normsand.

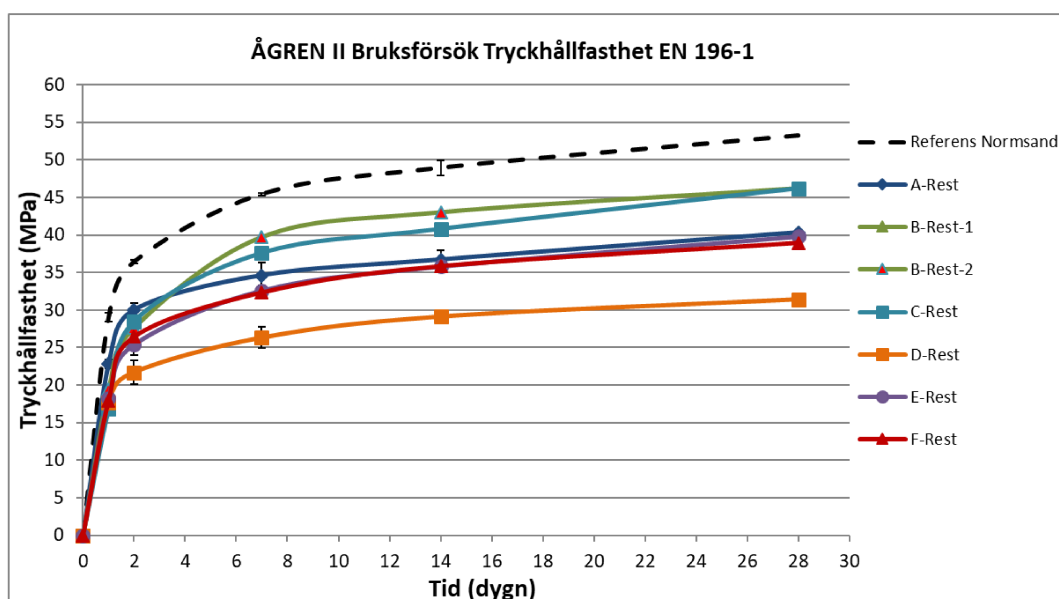
Prismor i storlek 160 x 40 x 40 mm gjöts enligt EN 196-1 med 50% gjuterisand och 50% normsand. Efter gjutning avformades prismorna, märktes och placerades i vattenbad i 20°C fram till tryckprovning. Prismorna trycktes för provning av hållfasthet efter ett schema, nämligen vid 1, 2, 7, 14 och 28 dygn efter gjutning. Varje prisma knäcks till två unika provkroppar för tryckprovning. För 1 och 2 dygns provningarna gjöts för varje blandning tre stycken prismor (ger sex delprov per dygn), medan för 7, 14 och 28 dygn gjöts sex stycken prismor som fördelades på de tre dygnen (ger fyra delprov per dygn). Dessutom gjöts prismor med 100 % normsand för att använda som referens. Totalt provades åtta olika sandtyper.

Vid gjutning provades också utbredningsmått på bruksblandningarna. Då fyller man en kon i två lager med bruk (stamper lätt 10 ggr per lager); konen är placerad på en skiva. Skivan kan man med hjälp av en vev lyfta (veva) upp tills den faller ner igen och skapar ett slag och detta göra att bruket breder ut sig. Ju lösare konsistens, desto mer flyter bruket ut. Totalt vevar man 15 varv (15 fall med slag), mäter diameter på bruket i två riktningar och beräknar medelvärdet.

Resultat för utbredningsmått redovisas i tabell 1.4.10, där det även framgår att inte alla blandningssatser för tryckhållfasthet provades för utbredningsmått.

**Tabell 3.1 Resultat utbredningsmått.**

Providentitet	Utbredningsmått (mm)		
	Sats 1	Sats 2	Observation
Referens	195	195	Plan och jämn cirkel
A-Rest	140	145	Torr och klumpig
B-Rest-1	155	155	Torr och klumpig
B-Rest-2	160	Ej provats	Rund men lite klumpig
C-Rest	Ej provats	Ej provats	Ser ok ut
D-Rest	105	105	Mycket torr och klumpig
E-Rest	155	155	Torr och klumpig
F-Rest	170	Ej provats	Torr och klumpig

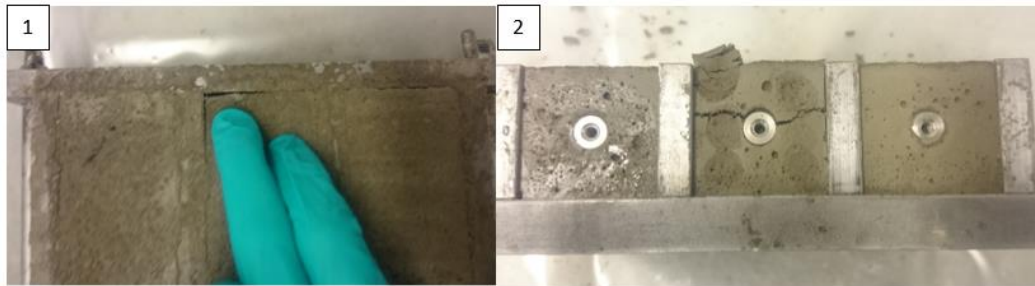


Figur 3.1 Resultat tryckhållfasthet

Tabell 3.2 Resultat tryckhållfasthet

Providentitet	Tryckhållfasthet – medelvärde (MPa) vid olika ålder (dygn)				
	1	2	7	14	28
Referens	29,0	36,4	45,4	48,9	53,2
A-Rest	22,8	30,0	34,6	36,7	40,3
B-Rest-1*	-	-	-	-	-
B-Rest-2	19,4	27,6	39,7	43,0	46,2
C-Rest	16,8	28,5	37,6	40,8	46,2
D-Rest	17,7	21,7	26,3	29,1	31,4
E-Rest	18,3	25,4	32,6	35,8	39,8
F-Rest	17,9	26,4	32,3	35,8	38,9

\* Prov härdade ej



Figur 3.2 Tryckhållfast-prismor som inte har härdat.



Figur 3.3 Tryckhållfast-prismor som inte har härdat.

Kommentarer till resultat: Referenssandens ligger högre än gjuterisanderna i tryckhållfasthet vid alla åldrar. De sandtyper som hade högst hållfasthet var C-Rest och B-Rest-2, vilket är lite förvånande vad gäller den senare, eftersom B-Rest-1 inte härdade alls vid samma förutsättningar. Båda sandtyper har bara (B) eller delvis (C) vattenglas som bindemedel. A-Rest, E-Rest och F-Rest har liknande tryckhållfasthet kring 40 MPa. Dessa sandtyper har resol respektive furan som bindemedel, medan F-Rest utgörs av blästersand. D-Rest ligger lägst på 31,4 MPa; bindemedlet i denna sand utgörs av bentonitlera och sot. För att summera hur de olika sandtyperna presterade i bruksblandning:

Referens > Vattenglas  $\geq$  Resol > Furan > Bentonit



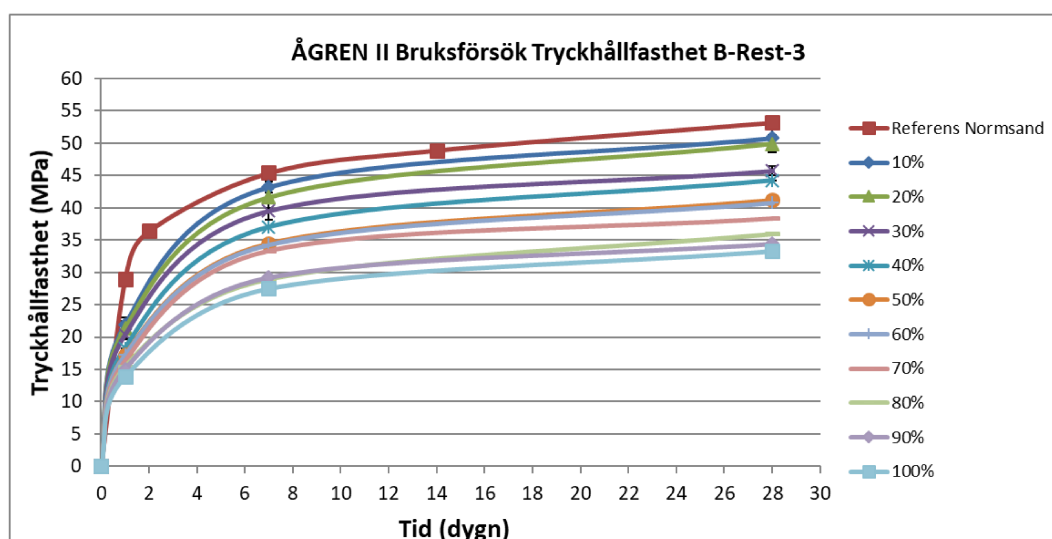
I pilotprojektet ÅGREN, följde tryckhållfastheten följande ordning:

Referens = Furan > Vattenglas > Resol ≈ Bentonit

Eftersom B-Rest-1 inte härdade alls medan B-Rest-2 gjorde så och dessutom fick en god tryckhållfasthetsutveckling, så valde vi att testa ytterligare en batch (B-Rest-3), med tio olika grader av iblandning istället för den enda som använts tidigare (50% gjuterisand och 50% normsand). Se Tabell 3.3 för sammanfattning av dessa.

Tabell 3.3 Resultat tryckhållfasthet B-Rest-3

Prov	Andel (%)		Tryckhållfasthet (MPa)		
	B-Rest-3	Normsand	1 d	7 d	28 d
1	10	90	21,9	43,2	50,7
2	20	80	21,3	41,6	49,8
3	30	70	20,3	39,5	45,7
4	40	60	18,3	37,0	44,2
5	50	50	17,3	34,5	41,2
6	60	40	17,2	34,3	40,8
7	70	30	16,3	33,4	38,4
8	80	20	15,4	29,0	36,0
9	90	10	15,0	29,2	34,4
10	100	0	13,8	27,5	33,3



Figur 3.4 Resultat tryckhållfasthet B-Rest-3

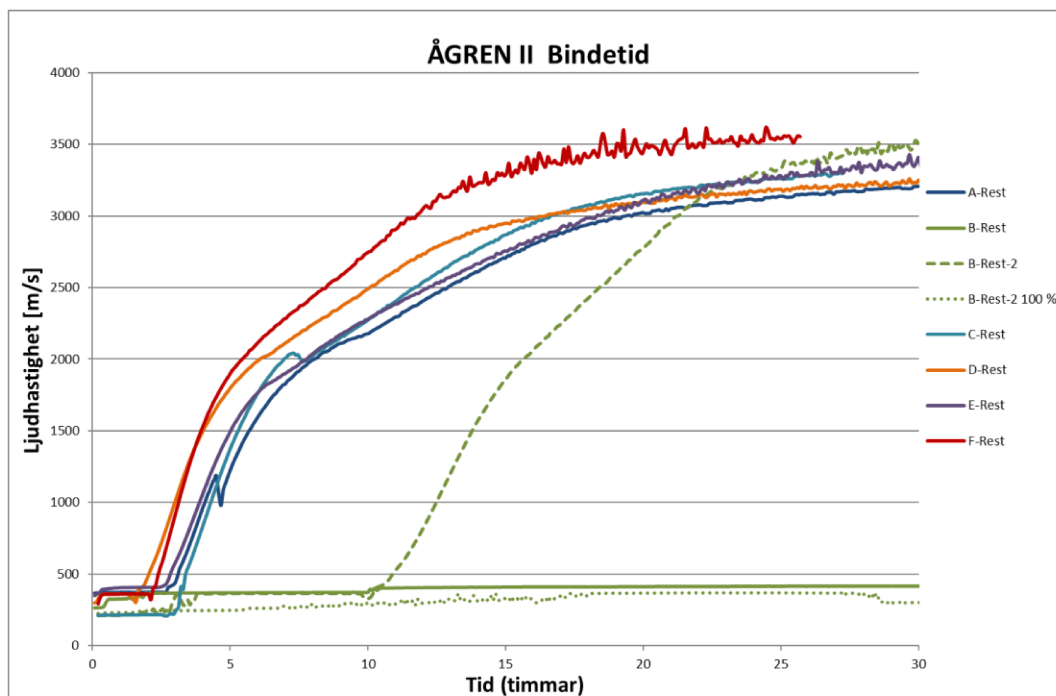
Kommentarer till resultatet: Tryckhållfastheten för bruk gjort på B-Rest-3 minskar från en vid låg iblandning (10 % gjuterisand) hög nivå på 51 MPa, vilket ligger nära den för referenssand (100 % normsand, 0% gjuterisand), till en vid hög iblandning (100% gjuterisand) låg nivå på 33 MPa. Anledning kan förstås delvis vara att normsanden (0/2) innehåller större partiklar och större partikelspann, som ger tätare struktur och därmed högre hållfasthet, men delvis ligger sannolikt förklaringen också i att gjuterisanden drar åt sig mera vatten och detta gör att bruket blir torrare och inte blandar sig lika bra. Cementen får mindre vatten att reagera med och bruket blir inte lika kompakt, vilket ger småbubblor som inte har någon styrka.

En möjlig förklaring till att B-Rest verkar ha svårigheter att härda i vissa fall kan bero på den esterhärdare (katalysator) som tillsätts bindemedlet. I stark alkalisk miljö sönderdelas ester till karboxylsyra och alkohol, vilka båda kan fungera som hämmande för cementreaktion (s.k. retarder). Skillnaderna mellan de olika bruksblandningarnas (baserade på olika batcher B-Rest) benägenhet att härda kan bero på att halten ester har varierat mellan batcherna.

#### *Bruksprovning – Bindetid*

Bindetid är en provning som kompletterar tryckhållfastprovningen. Vid bindetid ser man provets utveckling när det gäller härdning under den första tiden. Här har vi tittat på det första dygnet.

Bruket blandades enligt samma recept som för tryckhållfasthet och även här har vi använt ballast/sand bestående av 50% gjuterisand och 50% normsand. Direkt efter blandning placeras bruket i en speciell behållare och provningen startas. Provningen avslutas automatisk när en viss härdning har uppnåtts alternativt om en viss härdning inte uppnås, stoppas provet manuellt. Provningen går ut på att man har en nål som trycks ner i bruket och mäter motstånd. Allt eftersom bruket härdar och hårdnar, ju mer kraft behövs det för att trycka ner nålen i bruket.



Figur 3.5 Resultat från bindetid

Kommentarer till resultatet: Alla sandtyper utom B-Rest beter sig någorlunda likartat, med styrketillväxt som startar efter 2–3 timmar och accelererar relativt snabbt, med en första svag avmattning efter 5–6 timmar, därefter en andra kraftigare avmattning med något avstannande utveckling vid 13–14 timmar. I diagrammet är det tydligt hur provet med B-rest-1 (grön heldragen linje) inte härdar alls under de 30 timmar som mätningen pågår, då linjen ligger horisontellt. B-rest provades därför igen, med sand från en andra leverans (B-Rest-2). För detta prov blev härdningen förvisso fördröjd jämfört med de andra sandtyperna, men en viss härdning kom trots det igång efter ca 10 timmar (grön streckad linje). Efter 21–22 timmar nådde blandningen upp till samma täthet/härdning som övriga sandtyper. Då det alltså visade sig att den andra leveransen sand B-Rest åtminstone härdade efter en viss tid, gjordes ett test med 100 % gjuterisand för denna (grön punktlinje). Dock härdade inte denna bruksblandning alls, utan följde samma spår som B-Rest-1 (med 50% iblandning).

#### 4 Betongprovning hos RISE CBI

En av målsättningarna i projektet var att Betongfabrik 1 skulle gjuta större element i betong, där en viss halt av ballasten skulle utgöras av gjuterisand A-Rest. Som ett steg före fullskalegjutning på betongfabrik så gjordes gjutningar och provningar på det faktiska betongreceptet på RISE CBI:s laboratorium i Borås. Betongfabrik 1 delgav sitt recept för självkompakterande betong (SKB), i vilket olika proportioner av gjuterisand A-Rest blandades in. För att grovt hitta lämpliga proportioner att blanda in modellerades olika totala siktkurvor genom att variera halterna av de olika ballastsorterna – restsand från gjuteri och det naturgrus (0/8) och den sten (8/16) som Betongfabrik 1 redan använder. Syftet var att få till en total siktkurva som i så hög grad som möjligt liknade den som Betongfabrik 1 redan använder, möjligen med viss anpassning till kurva ideal för SKB. Från dessa beräkningar framkom att recept där 15% och 25% av ballast utgörs av gjuterisand var lämpliga att prova. Egenskaperna som testades var tryckhållfasthet och densitet på hårdnad betong (kuber 150 mm i sida), samt konsistens och densitet på den färska betongen. De delmaterial som behövdes för gjutningarna, så som jungfrulig ballast och flytmedel, var de samma som Betongfabrik 1 använder och dessa skickades till RISE CBI från Betongfabrik 1. Det cement som användes var också av samma sort som Betongfabrik 1 använder, men här användes sådant som RISE CBI redan hade hemma. Gjutning utfördes vid två olika tillfällen: december 2017 och april 2018.

Tabell 4.1 Recept laboratorieprovningar

Material	Mängder (kg/m <sup>3</sup> )		
	0% gjuterisand A-Rest (referens)	15 % gjuterisand A-Rest	25 % gjuterisand A-Rest
Cement	420	420	420
Vatten	185	185	185
Grus 0/8 N (56 %)	950	709	536
Sten 8/16 K (44 %)	748	761	761
Gjuterisand A-Rest	-	260	433
Flytmedel	5,4	5,4	5,4
Luftporbildare	-	-	-

Tester som utfördes på den färska betongen var lufthalt, densitet och flytsättningsmått (inklusive T<sub>500</sub>). Färsk betongs densitet bestäms genom att en behållare av känd volym fylls med färsk betong och därefter vägs. Lufthalt bestäms enligt EN 12350-7 och då har man en 9 liter stor behållare med ett tät lock där man sätter tryck med vatten och sedan mäter lufthalten.

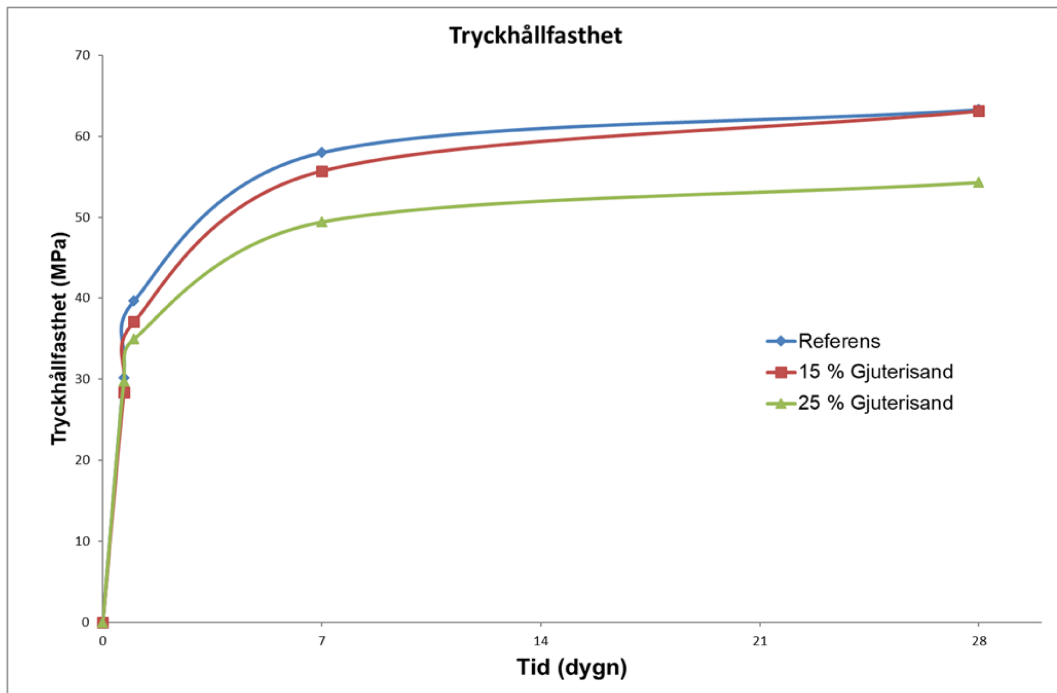
Flytsättningsmått och T<sub>500</sub> provas med samma utrustning, för en SKB (självkompakterad betong) ska betongen rinna ut av sig själv vid gjutning, dvs ingen extra vibrering ska behövas. Vid mätning av flytsättningsmått och T<sub>500</sub> fylls en kon med den färska betongen; konen är placerad mitt på en styv platta med en markerad cirkel av diameter 500 mm. När konen är helt fylld lyfts den rakt upp i en kontinuerlig rörelse och betongen flyter ut över plattan. T<sub>500</sub> mäts genom att starta tidtagarur när konen lyfts och stoppa

detsamma när den utflytande betongen når 500 mm-cirkeln.  $T_{500}$  är alltså tiden det tar att för betongen att breda ut sig till en cirkel av ca 500 mm diameter och anges i sekunder. Flytsättnmättet mäts när betongen inte breder ut sig längre genom att mäta (i mm) diameter tvärs betongprovet i fyra ledder och beräkna medelvärde. Flytsättnmätt och  $T_{500}$  provades 5, 15 respektive 30 minuter efter färdig blandning.

Tabell 4.2 Resultat på den färska betongen, laboratorieprovningar

Egenskaper	Referens	Recept med gjuterisand A-Rest 15 %	Recept med gjuterisand A-Rest 25 %
Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	2380	2370	2300
Lufthalt (%)	1	1,7	2,8
Flytsättnmätt (mm), 5 min	590	-	-
$T_{500}$ (sek), 5 min	4,5	-	-
Flytsättnmätt (mm), 15 min	615	580	560
$T_{500}$ (sek), 15 min	5,0	7,5	5,0
Flytsättnmätt (mm), 30 min	550	410	470
$T_{500}$ (sek), 30 min	5,5	När ej 500 mm	6,0

Tryckhållfasthet utförs enligt EN 12390-3. Tryckhållfasthet provades på kuber med sida 150 mm. Provkropparna gjöts och avformades ca 1 dygn efter. Direkt efter avformning placerades provkropparna i vattenbad (20 °C) och förvarades där fram tills provtillfälle. Densitet beräknas på samma kub som tryckhållfasthet, genom att kubens dimensioner och vikt mäts upp enligt EN 12350-6.



Figur 4.1 Resultat hårdnad betong, laboratorieprovningar tryckhållfasthet

Tabell 4.3 Resultat hårdnad betong, laboratorieprovningar

Betong-mix	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )				Tryckhållfasthet (MPa)			
	16h	1d	7d	28d	16h	1d	7d	28d
Referens	2390	2380	2400	2400	30,2	39,7	58,0	63,3
Standardavvikelse	10	10	10	10	0,6	0,2	1,9	3,1
Recept med gjuterisand A-Rest – 15%	2360	2340	2380	2370	28,4	37,1	55,7	63,1
Standardavvikelse	10	0	10	20	0,3	1	0,3	2,1
Recept med gjuterisand A-Rest – 25%	2320	2320	2340	2350	29,8	35,0	49,4	54,3
Standardavvikelse	10	10	10	10	0,9	0,1	0,5	1,0

Kommentarer: Tryckhållfasthet och egenskaper hos den färska betongen på betong tillverkad på RISE CBI visar att det är möjligt att gjuta en betong med gjuterisand. För referensbetongen som gjöts var sluthållfastheten lite högre än betongen med gjuterisand medan den tidiga hållfastheten (16h) hamnade på ungefär samma nivå.

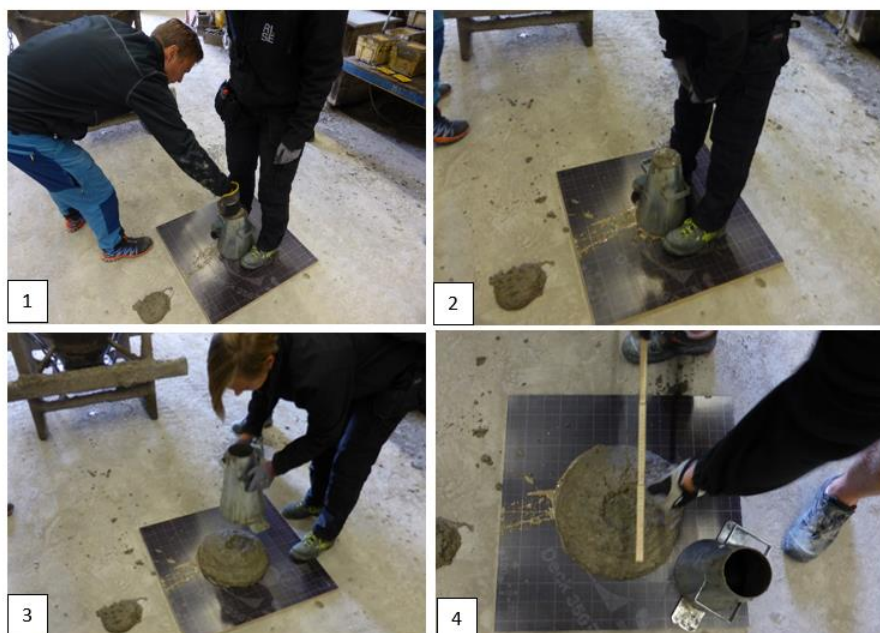
## 5 Betongprovning i fabrik 1

I september 2018 gjöt Betongfabrik 1 själva i stor skala, enligt modifierat recept från RISE CBI. Totalt gjöts fem satser om ca 600 liter vardera, där receptet varierades med avseende på olika andel gjuterisand och med eller utan tillsats av luftporbildare. Blandningen gjordes i fabriken huvudblandare, varför insatsen till viss del störde den normala produktionen. Före gjutningarna hade fabriken förberett allt, inklusive inskaffande av alla ingredienser och byggande av formar för de fem betongplintarna som skulle gjutas för respektive sats.

I processdatorn på Betongfabrik 1 togs referensreceptet fram och innan start beräknades hur stor andel av finmaterialdelen som skulle ersättas av gjuterisand och hur mycket som skulle vägas upp av gjuterisanden till respektive mix. Därefter startades första blandning genom att först väga upp sten-sorteringen (8/16) och därefter sand-fraktion; i det skedet fick det automatiserade programmet pausas för att manuellt lägga på gjuterisanden på matarbandet till blandaren (se figur 5.1). Anledning till att man pausar programmet är att det i dagsläget endast finns två fickor för ballast, där man idag förvarar 0/8 mm naturgrus och 8/16 mm bergkross. Eftersom blandningsprogrammet automatiskt anger hur mycket som ska fyllas på från de två fickorna och det inte finns någon tredje, så måste man alltså väga upp eventuella tredje material (som i det här fallet med gjuterisand) med handkraft på matningsbandet. När gjuterisanden var på plats vägdes slutligen resterande del av grus-sortering (0/8) upp och därefter cement. Delmaterialen gick sedan på band till betongblandaren, där det blandades samman och proportionerad mängd vatten tillsattes. När betongmixen var färdigblandad (några minuter) tömdes den i en s.k. bask, varpå konsistensen testades genom flytsättningsmått och visuell bedömning (se figur 5.2). Detta gjordes ca 10 minuter efter blandning. Efter konsistenstestet gjöts provkroppar för tryckhållfasthet, frostresistens och lakning. Slutligen kördes basken iväg till en annan byggnad för gjutning av plintar (se figur 5.8).



Figur 5.1 Manuell uppvägning och matning till transportband av gjuterisand.



Figur 5.2 Bildserie för provning av flytsättningsmått. 1) Fyllning av betong i sättningskone. 2) Konen fylld. 3) Under några sekunder lyfts konen rakt uppåt och betongen rinner ut. 4) När betongen kommit till vila mäts diameter på fyra olika ledd och medelvärdet anges som flytsättningsmått (mm).





Figur 5.3 Flytsättmätt av betongmix 1.



Figur 5.4 Flytsättmätt av betongmix 2.



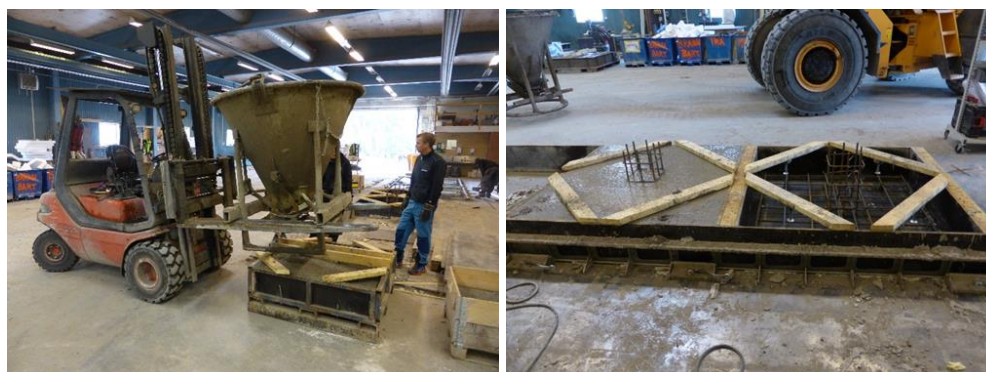
Figur 5.5 Flytsättmätt av betongmix 3.



Figur 5.6 Flytsättmätt av betongmix 4.



Figur 5.7 Flytsättmått av betongmix 5.



Figur 5.8 Gjutning av plintar

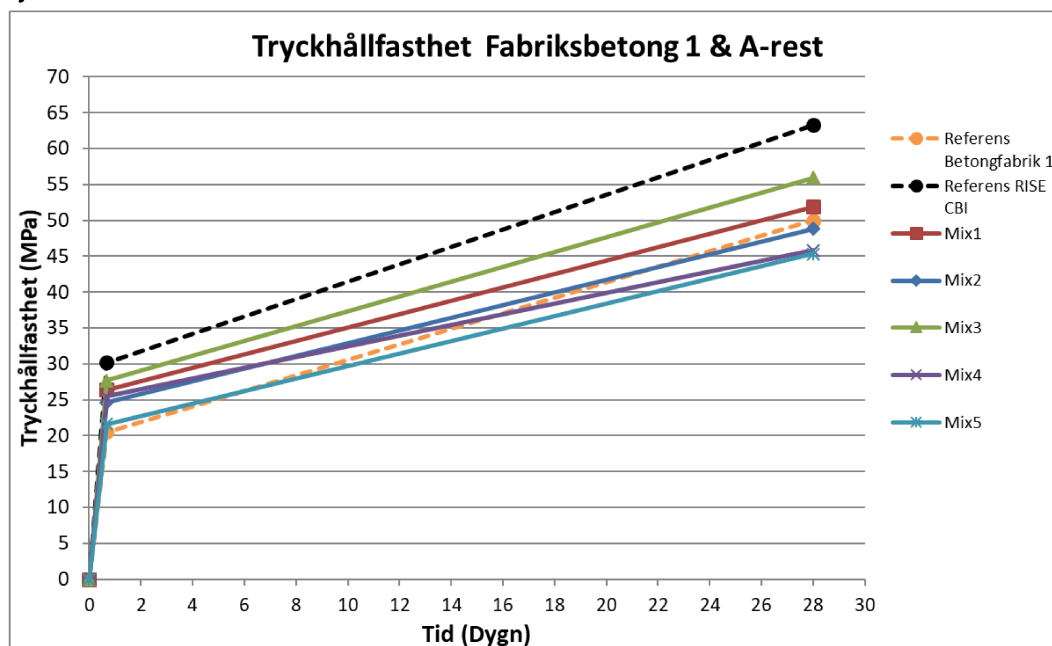
Tabell 5.1 Recept hos Betongfabrik 1

Material	Mängder (kg/m <sup>3</sup> )					
	Referens	Mix 1 (15 %)	Mix 2 (15 %)	Mix 3 (25 %)	Mix 4 (25 %)	Mix 5 (25 %)
<b>Blandning</b>	<b>0%</b>	<b>(15 %)</b>	<b>(15 %)</b>	<b>(25 %)</b>	<b>(25 %)</b>	<b>(25 %)</b>
<b>Halt gjuterisand</b>	<b>0%</b>	<b>(15 %)</b>	<b>(15 %)</b>	<b>(25 %)</b>	<b>(25 %)</b>	<b>(25 %)</b>
Cement	420	420	420	420	420	420
Vatten	185	182	182	182	182	210
Grus 0/8 N	950	710	710	536	536	536
Sten 8/16 K	748	760	760	760	760	760
Gjuterisand A-Rest	0	260	260	434	434	434
Flytmedel	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14	5,14
Luftporbildare	1	-	1	-	1	1
vct	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,50

Tabell 5.2 Resultat på den färska betongen hos Betongfabrik 1

Egenskaper	Betong-mix				
	Mix 1	Mix 2	Mix 3	Mix 4	Mix 5
Flytsättningsmätt 10 min (mm)	400	510	360	300	650
Observationer	Ej vibreringsfri - trög. Ingen vatten-separation	Blöt och fin betong, ingen vatten-separation	Ej vibreringsfri - trög. Ingen vattenseparation. Liten klump i mitten vid flytsättningsmätt.	Ej vibreringsfri - trög. Ingen vatten-separation. Liten klump i mitten vid flytsättningsmätt.	Fin konsistens - blöt och fin betong. Ingen vatten-separation.

Tryckhållfasthet



Figur 5.9 Resultat hårdnad betong, Betongfabrik 1 tryckhållfasthet

Tabell 5.3 Resultat hårdnad betong från Betongfabrik 1

Betongmix	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )		Tryckhållfasthet (MPa)	
	16h	28d	16h	28d
Referens	-	2280	20,5	50,0
Mix 1	2258	2246	26,4	51,9
Mix 2	2222	2267	24,6	48,8
Mix 3	2317	2323	27,7	55,9
Mix 4	2246	2264	25,5	45,8
Mix 5	2216	2252	21,6	45,3

### Frostresistens

Vid gjutning på Betongfabrik 1 gjöts en 150\*150\*150 mm kub av mix 5 för provning av frostresistens enligt SS 13 72 44 utg 4. Frostresistens provas genom att man cyklar temperaturen (-20 till + 20 ° under 24h) för provkroppen under 56 dagar. På provkroppen har man 3 mm 3 % saltlösning.

Denna provkropp har vattenlagras fram till transport till RISE CBI Betonginstitutet vid ca 20 dygns ålder. Avsteg från metoden har dock gjorts, då kubens sågades ca 14 dagar för sent och således startades provningen 14 dagar för sent.

Tabell 5.4 Resultat frostresistens

Betongmix	Frostresistens, avflagningar (kg/m <sup>2</sup> ) vid olika ålder (dygn)				
	7	14	28	42	56
Mix 5 Delprov 1	0,12	0,38	0,88	1,28	1,37
Mix 5 Delprov 2	0,12	0,46	1,12	1,65	2,10
Medelvärde	0,12	0,42	1,00	1,47	1,74

Vid provning av frostresistens hos en betong med mycket god frostbeständighet hamnar mängden avflagningar på <0,10 kg/m<sup>2</sup> vid 56 cykler. Gränsen för acceptabel betong går vid <1,0 kg/m<sup>2</sup> vid 56 cykler.



Figur 5.10 Delprov 1 från frostresistensprovning.

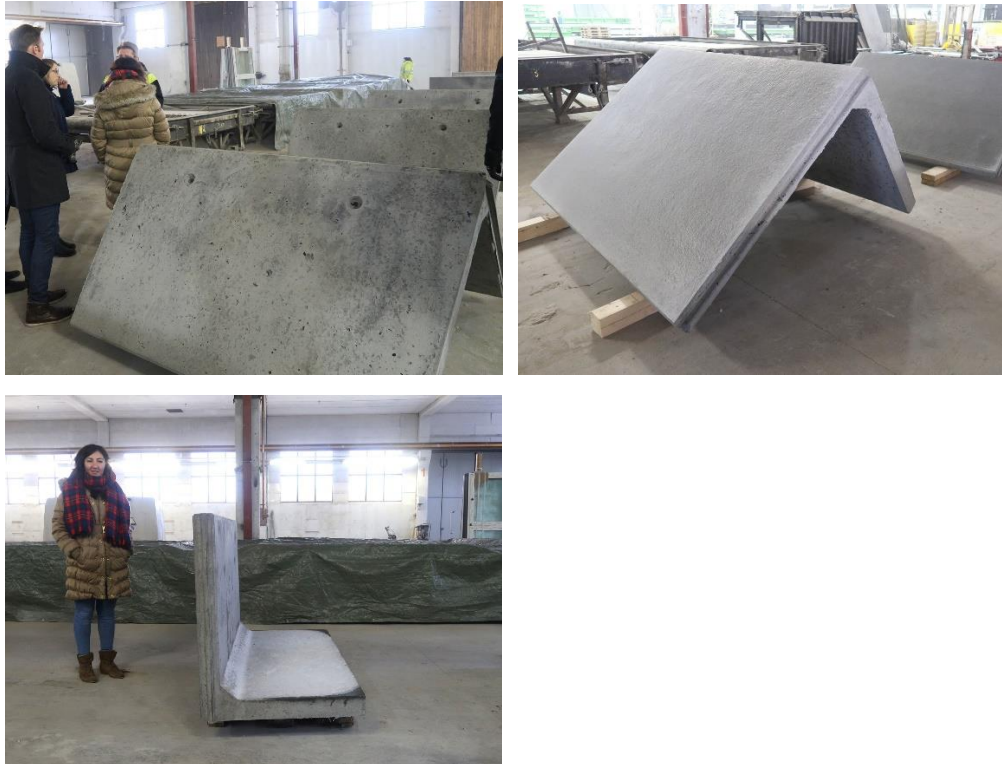
Kommentarer till resultat: Vid gjutning på Betongfabrik 1 var vct en uppskattning och sannolikt är den lägre. Programmet räknar med att ballasten är fuktig (med en viss fuktkvot) och kompenserar därmed genom att dra bort motsvarande mängd vatten från blandningsvatten. Då gjuterisanden i det här fallet var helt torr bidrog den inte med något sådant vatten, utan suger snarare upp vatten. Verkligt vct kan därför vara närmare 0,40 snarare än 0,43, respektive 0,47 snarare än 0,50.

På grund av detta och andra observationer, föreslås därför följande korrigeringar vid nästa gjuttillfälle:

- Mer korrekt vattenhalt, genom att mäta fuktkvot hos gjuterisand och lägga in rätt värden i programmet.
- Testa Mix 5 med lägre cementhalt, t.ex. 390 - 400 kg/m<sup>3</sup>, för att se om gjuterisand kan kompensera för låg finmaterialhalt.
- Testa mellanläget 20 % gjuterisand (av total ballastmängd), för att hitta rätt konsistens och tryckhållfasthet, med minskad cementhalt.
- Tryckhållfastheten visar i vissa fall på en högre tryckhållfasthet än den tryckhållfasthet som Betongfabrik 1 har som referens. För de mixar som ligger under referens var alla med luftporbildare och det påverkar också tryckhållfastheten.
- Frostresistens: Mix 5-betongen provades för frostresistens och redan vid 28 cykler har provet passerat gränsvärdet för en acceptabel nivå. Avsteg från metoden har gjorts med tänkte på sågdatum, men det är oklart hur detta har påverkat resultatet.

## 5.2 Betongtillverkning i Betongfabrik 2

Betongfabrik 2 omhändertog sand från gjuterierna och formulerade betongrecept med syfte att ge så låg miljöpåverkan som möjligt. Fokus var att använda så låg andel cement som möjligt, och att tillverka fullstora produkter (betongstöd) med fina ytor, tillräcklig hållfasthet och god flytbarhet. Bilderna är från ett projektmöte hos Betongfabrik 2 och visar L-stöd tillverkade med projektets gjuterisand i ballasten.



Figur 5.11 L-stöd tillverkade med gjuterisand i ballastmaterialet.

## 6 Laktester

Laktester syftar till att ge en bild av materialets benägenhet att i vatten släppa ifrån sig olika ämnen, av vilka vissa bedöms som skadliga för människor och/eller miljö. I projektet har vi genomfört lakttest på krossad betong, där betongen gjutits som till viss del består av restsand från gjuterier. Jämförelse har gjorts mellan halter uppmätta på lakvatten men också totalhalter från själva gjuterisanden (kapitel 3), och gränsvärden angivna i kravdokument för inert deponi och Naturvårdsverkets handbok för användning av avfall för anläggningsändamål.

### Koncept i ÅGREN 2

Som avslutning på projektet testades lakning på krossad betong tillverkad med del av ballast från restsand från gjuteri, istället för att testa lakningen på varje sand i sig. De intresserade betongtillverkarna och gjuterierna uppmanades därför att gjuta en extra betongkub eller motsvarande provkropp (ca 2 kg) och skicka denna till RISE CBI. Betongprovet skulle luftlagras efter gjutning (ej vattenlagras), för att närmare efterlikna hanteringen i betongfabrik och för att eventuell lakning inte skulle ske i förtid. Provberedning utfördes på RISE när betongprovet uppnått en ålder om minst 28 dygn; det krossades då varefter den krossade betongen utsattes för lakning enligt SS-EN 12457-3 (skaktest). Betongen krossas så att minst 95% <4mm och själva lakningen tar enligt använd metod 24 timmar. Lakningen genomförs i två steg, där eluat (lakvatten) tas ut efter varje. I första steget är L/S = 2 där material och vatten skakas i sex timmar innan uttag av lakvätska, i andra steget är L/S = 10 där material och vatten skakas resterande 18 timmar. Eluaten analyserades slutligen med avseende på koncentration av olika grundämnen och föreningar, som bestämdes utifrån riktlinjer i Lakningsföreskrifter Inert deponi – NFS 2004:10 och 2010:4, samt samråd med deltagande gjuterier. Nivåerna anges generellt som mg/kg och avser mg lakat av visst ämne per kg torrt provmaterial.

Analysresultaten jämfördes mot kraven i Naturvårdsverkets handbok 2010:1, Återvinning av avfall i anläggningsändamål, för att se om sanden klarar kraven för ”mindre än ringa risk”, samt de nivåer som finns för deponitäckning. Jämförelse gjordes också mot de generella riktvärden som ges i Naturvårdsverkets handbok Känslig markanvändning (kommuner) för förorenad mark, för att se hur sanden klarar riktvärdena för känslig och mindre känslig markanvändning.

Tabell 6.1. Ämnen att analysera

Ämnen, föreningar och egenskaper
”Tungmetaller” – arsenik (As), barium (Ba), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), molybden (Mo), nickel (Ni), bly (Pb), antimon (Sb), selen (Se), zink (Zn)
Halogener (klorider och fluorider)
Sulfat



ammonium, svavel
TS
DOC
Konduktivitet
pH
Fenolindex
BTEX (bensen, toluen, etylbensen och xylen)
”Mineralolja” – alifater och aromater
PAH (polycykliska aromatiska kolväten) – PAH16
PCB (polyklorerade bifenyler) – PCB7
Buffertförmåga (ANC)

### Genomförande

Endast en betongfabrik med en betong baserad på en gjuterisand valde att genomföra lakteter. Vid gjutning hos Betongfabrik 1 gjöts en 150\*150\*150 mm betongkub, där ballasten till 25 vikt% bestod av gjuterisand A-rest, till prov av lakning. Efter avformning luftlagrades provkroppen hos Betongfabrik 1 och efter 20 dygn transporterades den till RISE CBI, där den placerades i ett konditioneringsrum vid 20°C fram till krossning. Kuben krossades efter att den passerat 28 dygns ålder och därmed uppnått den större delen av sin hållfasthet och härdning. Krossningen gjordes i tre steg för att få ner materialet till en partikelstorlek <4 mm; först med tryckpress, därefter med käftkross och slutligen med konkross.

Två påsar med ca 500 g torkad krossad betong (<4 mm) i varje skickades till RISE Kemi, material och ytor, för lakning enligt SS-EN 12457-3 (skaktest) och efterföljande analys av lakvattnet.

### Resultat

Resultat på torrt prov, torkat vid 105°C, presenteras i Tabell 6.2. Fukthalten är 0,7 vikt%.

**Tabell 6.2. Resultat lakning på torrt prov**

Egenskap, ämne	L/S 2	L/S 10
pH	12,8	12,6
Konduktivitet (mS/cm)	10,2	7,6

As (mg/kg)	<0,05	<0,2
Ba (mg/kg)	1,5	8,3
Cd (mg/kg)	<0,01	<0,01
Cr (mg/kg)	<0,05	<0,1
Cu (mg/kg)	<0,05	<0,1
Hg (mg/kg)	<0,005	<0,005
Mo (mg/kg)	<0,05	<0,1
Ni (mg/kg)	<0,05	<0,1
Pb (mg/kg)	<0,05	<0,1
Sb (mg/kg)	<0,05	<0,1
Se (mg/kg)	<0,01	<0,08
Zn (mg/kg)	<0,05	<0,1
Cl <sup>-</sup> (mg/kg)	19	34
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	160	220
F <sup>-</sup> (mg/kg)	3	7
NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/kg)	3	11
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/kg)	5	6
DOC (mg/kg)	490	960
TS (mg/kg)	3250	19 800
Fenol (mg/kg)	0,9	3

Tabell 6.3. Resultat totalhalter på torrt prov

<b>Egenskap, ämne</b>		
Total halt svavel (vikt-%)		0,29
PAH, summa av 16 olika (mg/kg)		<0,23
PCB, summa av 7 olika (mg/kg)		<0,007
BTEX, summa av x olika (mg/kg)		<0,2
ANC (mol H <sup>+</sup> /kg)		2,8
Mineralolja, olika (mg/kg)	alifater C5-C8	<5

	alifater C8-C10	<3
	alifater C10-C12	<5
	alifater C12-C16	<5
	S:a alifater C5-C16	<9
	alifater C16-C35	59
	aromater C8-C10	<4
	aromater C10-C16	<0,9

### Jämförelse av resultat gentemot kravdokument

Som startläge inför fortsatt utvärdering är det intressant att titta på gränsvärden för att lägga avfall på inert deponi. Dessa regleras i Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall (NFS 2010:4). Klarar materialet de kravgränserna bör det vara lättare komma vidare till andra tillämpningar. Tabell 6.4 och 6.5 redovisar resultat från lakning av den krossade betongen jämförda mot kravgränser för inert deponi.

Tabell 6.4 Jämförelse oorganiska ämnen för inert deponi (mg/kg TS)

Ämne	Gränsvärde Utlakning L/S = 10 skaktest (mg/kg)	Resultat Utlakning L/S = 10 skaktest (mg/kg) betongkross
As	0,5	<0,2
Ba	20	8,3
Pb	0,5	<0,1
Cd	0,04	<0,01
Cu	2	<0,1
Cr	0,5	<0,1
Hg	0,01	<0,005
Mo	0,5	<0,1
Ni	0,4	<0,1
Sb	0,06	<0,1
Se	0,1	<0,08

Zn	4	<0,1
Klorid	800	34
Fluorid	10	7
Sulfat	1000	220
Fenolindex	1	
DOC	500	960

Tabell 6.5 Jämförelse organiska ämnen för inert deponi

Ämne	Gränsvärde totalhalt	Resultat totalhalt krossad betong
TOC (%)	3	<0,5*
BTEX (mg/kg)	6	<0,2
PCB (mg/kg)	1	<0,007
Mineralolja C10-C40 (mg/kg)	500	<70
PAH, cancerogena (mg/kg)	10	<0,23
PAH, övriga (mg/kg)	40	

\*Halt i ingående gjuterisand (A-Rest) och inte krossad betong

Vid jämförelse mellan totalhalter respektive lakttest av överskottssanden mot kraven för ”mindre än ringa risk” i Handboken kring Återvinning av avfall i anläggningsarbeten, 2010:1. För de avfall som klarar kraven ”mindre än ringa risk råder fri användning, d.v.s. någon anmälan behöver inte göras till kommunen. Hänsyn ska dock alltid tas till det specifika fallet. Beroende på hur omgivningen ser ut kan även andra parametrar vara aktuella att studera.

Tabell 6.6. Jämförelse lakhalter krossad betong och kraven för ”mindre än ringa risk” (mg/kg TS)

Ämne	Gränsvärde Utlakning L/S = 10 skaktest (mg/kg)	Resultat Utlakning L/S = 10 skaktest (mg/kg)
As	0,09	<0,2
Pb	0,2	<0,1
Cd	0,02	<0,01
Cu	0,8	<0,1
Cr	1	<0,1
Hg	0,01	<0,005
Ni	0,4	<0,1
Zn	4	<0,1
Klorid	130	34
Sulfat	200	220

## 7 Livscykelanalys (LCA) och Livscykelkostnadsanalys (LCC)

### Affärsmodell för återanvänd gjuterisand

#### Introduktion

Generellt sett menar man med affärsmodell ”En beskrivning av hur en verksamhet är tänkt att fungera”. Man säger också ofta att en affärsmodell är ”En teoretisk beskrivning över hur man skapar värde”. Värdet behöver inte enbart vara ekonomiskt. En affärsmodell kan omfatta delar såsom en intäktsmodell, som beskriver hur intäkterna kommer in, en produktionsmodell som beskriver hur varor och tjänster produceras, och en leveransmodell som beskriver hur varor eller tjänster kommer kunden tillgodo.

En mycket vanlig affärsmodell i tillverkningsindustrin idag är att ett företag utvecklar och tillverkar en produkt, som sedan säljs till kunder. Idag växer det dock fram massor av nya sätt att driva en verksamhet. Listan nedan visar några olika exempel på affärsmodeller för olika typer av produkter och tjänster, inte specifikt gjuteri- eller betongbranschen, utan mer generellt:

- Att sälja vara eller tjänst
- Att leasa ut vara eller tjänst
- Att sälja en funktion i stället för en vara
- Att hyra ut i stället för att sälja en vara
- Att skapa en gemensam pool (exempel bilar), där man äger något gemensamt
- Att komplettera befintliga produkter med tjänster, tjänstefiering

Vilken affärsmodell, som är lämplig beror på många olika faktorer. Inför ett genomförande bör man exempelvis fråga sig hur man tar betalt för gjuterisanden och transporter.

Det är svårt att råda företag och säga att någon viss affärsmodell är bäst för alla inblandade. Det avgörs av förutsättningarna i varje tillfälle. Vår rekommendation är att man vid intresse för ett samarbete samlar alla intressenter, funderar och diskuterar möjliga lösningar för att slutligen välja en lösning som passar alla.

#### Affärsmodell för återanvändning av gjuterisand i betongindustrin

Nedan beskrivs olika möjligheter för affärsmodeller med utgångspunkt från den workshop som arrangerats inom projektet med de deltagande företagen. Under workshop användes en Business Model Canvas (BMC) för att gå igenom olika erbjudanden, vad som påverkar dem och hur kostnader och intäkter förhåller sig. En BMC för en betongfabrik togs fram, se bild 7.1 nedan. Företagens förslag och idéer

från de olika Business Model Canvas används som utgångspunkt för att beskriva olika möjligheter.

Nyckelpartners	Nyckelaktiviteter	Erbjudande	Kundrelationer	Kundsegment
Gjuterier Cementtillverkare Kunder	Utveckla produkt, Förbättra produkt Marknadsföring Betongen certifierad Testning Produktionsupplägg	Miljövänlig betongprodukt (L-stöd) till lågt pris Miljöbetong	Nätverkande Personliga kontakter Återförsäljare Kundkrav miljöbetong	Entreprenörer Byggvaruhandeln (privatpersoner)
	<b>Nyckelresurser</b> Tillverkande enhet inkl maskiner och personal Råmaterial		<b>Distributionskanaler</b> Direkt till entreprenör Återförsäljare	
<b>Kostnadsstruktur</b> Råvaror Transporter Tillverkning Tester		<b>Intäktsstruktur</b> Antal sålda produkter Såld betong		
<b>Hållbarhetskostnad/risk</b> Utläkning av ämnen Regelverk Hållfasthet Tillgång på sand från gjuterier		<b>Hållbarhetsnytta</b> Bättre resurshållning Minskad klimatpåverkan pga andel cement Lättare produkter Minskade transporter		

Bild 7.1 Business Model Canvas för en betongfabrik.

### Varför byta natursand mot gjuterisand i ballast

Det finns skäl att undersöka möjligheterna att använda gjuterisand som en komponent i ballasten vid tillverkning av betong, bland annat eftersom kraven ökar för att få tillstånden för sandtäckter och att använda gjuterisanden innebär resurseffektivitet.

Idag används bergkross i mycket större utsträckning, som ballast än tidigare. Strukturen på gjuterisanden gör att den blandar sig väl med bergkrossen. En annan fördel med gjuterisand och bergkross är att bergkross drar åt sig fukt i större utsträckning än naturgrus och passar då med gjuterisanden, som kräver mindre torkning än natursand.

Genom att använda gjuterisand och bergkross, kan transportererna minskas.

Gjuteriets kostnad för att ta hand om restsand idag ligger mellan 50 till 150 kr per ton, transporter och deponiavgift. Kostnaden beror på vad som händer med restsanden, idag går en del till vägbyggen och annat eller till deponi. I dagsläget är gjuterisand undantaget från deponiskatt. I framtiden finns en risk för att detta undantag kommer att försvinna vilket skulle innebära att kostnaden för att lägga gjuterisand på deponi ökar betydligt, med ca 500 kr per ton.

### Möjliga affärsmodeller

Dagens affärsmodell representeras av alternativ 1 i bild 7.2 nedan, där betongfabriken köper sand direkt från en täkt.

Ett alternativ till dagens modell är att gjuterierna lämnar sin sand till betongtillverkare, alternativ 2 i bild 7.2 nedan, vilket idag skulle göras mot att betongfabriken betalar transporten av sanden. Det skulle innebära att gjuteriets kostnad för att ta hand om restsand minskar, som idag ligger mellan 50 till 150 kr per ton idag för transporter och eventuell deponiavgift. För betongfabriken, som idag betalar mellan 100 och 150 kr per ton ballast, skulle det ge en minskad kostnad för en del av ballasten. Ett problem med denna modell är att betongfabriken måste behandla, sanden så att den inte innehåller några oönskade partiklar. I det här fallet blir restsanden en produkt och inte ett avfall längre.

I alternativ 3 i bild 7.2 nedan lämnar/säljer gjuteriet sin restprodukt till ett företag som behandlar sanden och CE märker, så att den kan användas som del av ballasten vid betongfabriken. "Sandtillverkaren" skulle kunna var en ballasttillverkare, täkt eller att betongfabriken gör det själva. Denna modell kan innebära mer transporter än modellen, där sanden går direkt till betongfabriken, beroende på var gjuteri, "santillverkare" och betongfabrik är belägna.

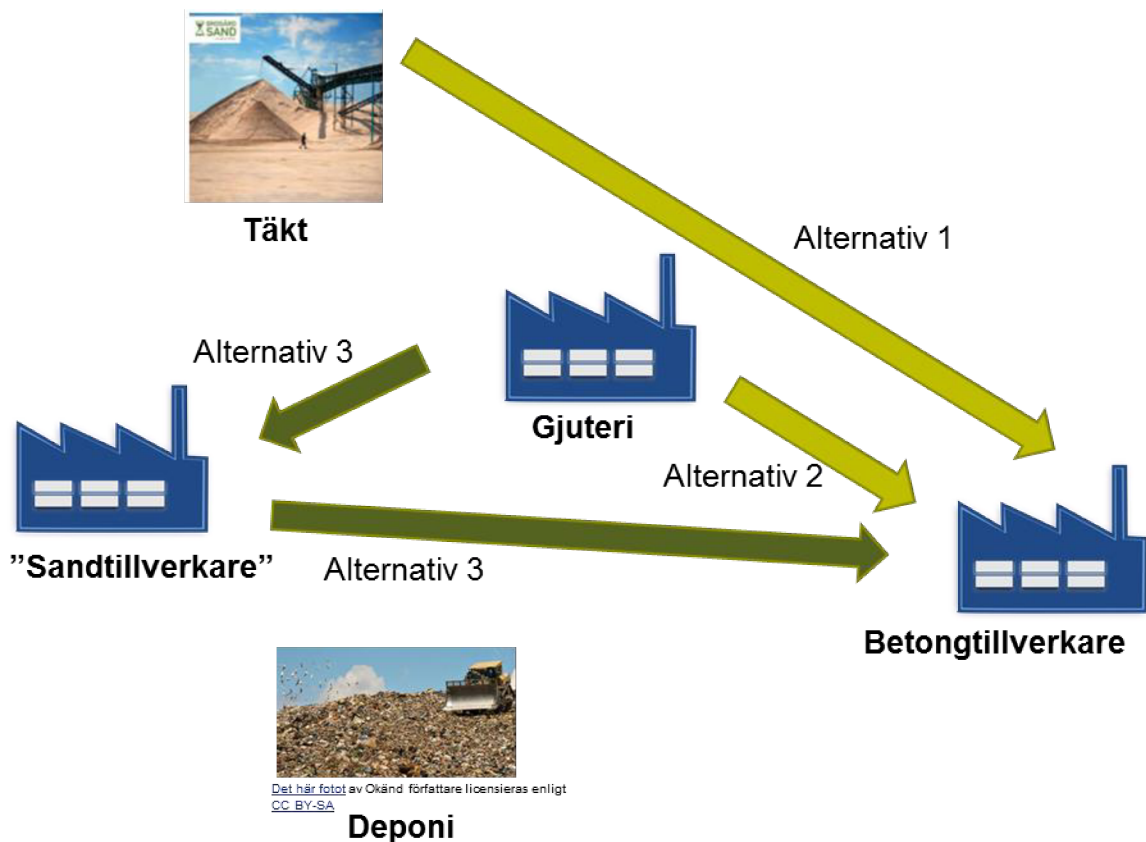


Bild 7.2 Möjliga alternativ på affärsmodell för en betongfabrik.



Ett gjuteri har flera möjligheter att hantera sin restsand. I alternativ 1 i bild 7.3 nedan köper gjuteriet natursand från täkt och restsanden går sedan direkt till betongfabriken. Hur får man då betalt och vilka kostnader minskar? Alternativ 2 innebär att gjuteriet lämnar/säljer sin restsand till en sandtillverkare/ballasttillverkare. Gjuteriet kan då få betalt för sin restprodukt, som sedan CE märks för att säljas som ballast till betongtillverkare.

I alternativ 3 går restsanden direkt till deponi, vilket innebär kostnader för gjuteriet bland annat i form av transporter. Det kan också ge kostnader för själva deponeringen.

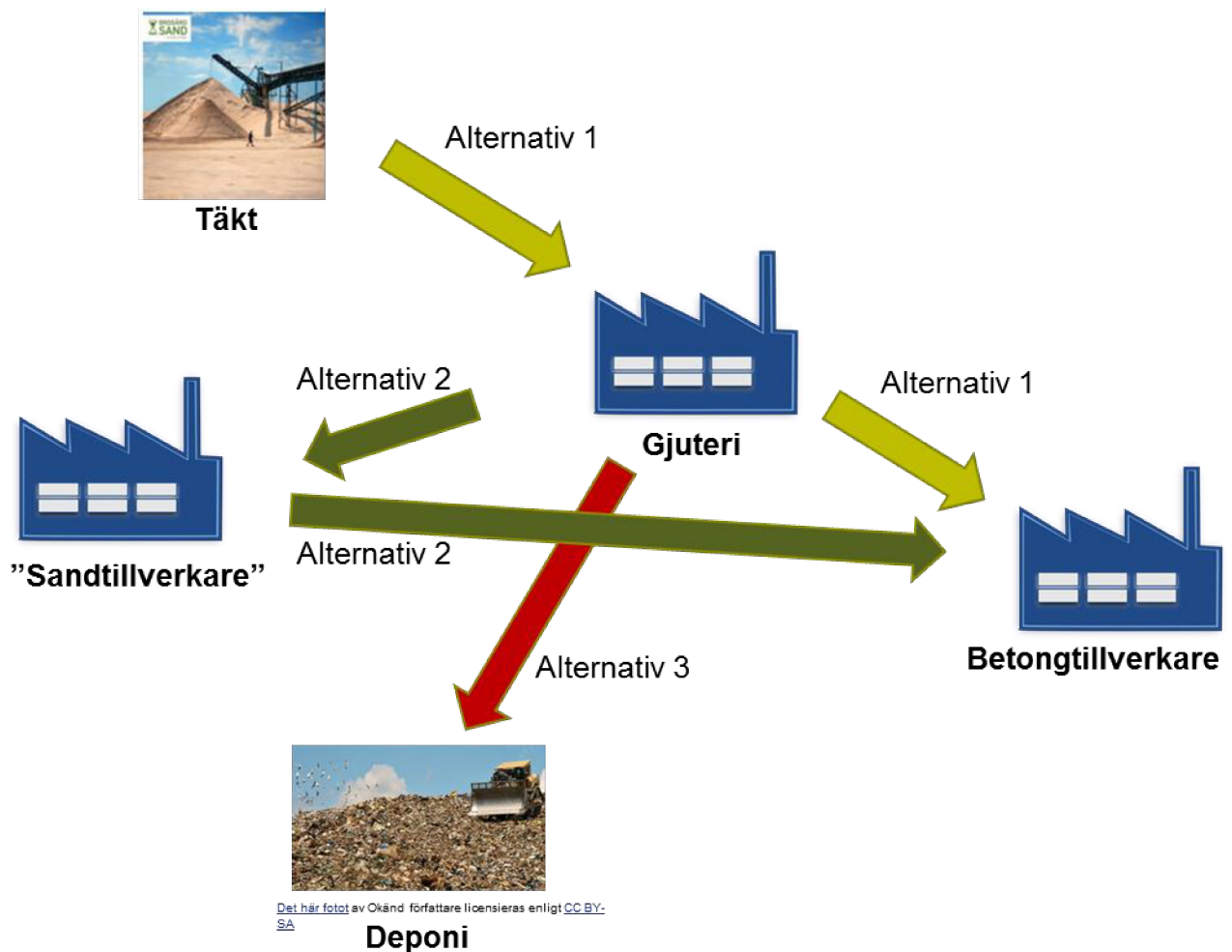


Bild 7.3 Möjliga alternativ på affärsmodell för ett gjuteri.

Kostnaden och klimatpåverkan från transporter måste ställas i relation till eventuell investering av maskiner för sandbehandling på betongfabriken och hur avstånden mellan gjuteri och betongfabrik är. Frågor som måste besvaras är bland annat hur ska gjuteriet få betalt för sin restprodukt, vem betalar transporten. Bli det vanligare att använda restsand, som ballast kommer gjuterierna troligen att vilja ha betalt för sin restsand i framtiden, då det blir en restprodukt och inte ett avfall. Det

räcker inte med att få betalt för t ex transporten, även om det minskar gjuteriets kostnader.

När de olika alternativen vägs mot varandra är resurseffektivitet en viktig parameter. Transportavstånden är en viktig parameter för miljöpåverkan, gränsen går någonstans vid 15 mil.

Enklaste modellen är naturligtvis, då gjuteriets restsand går direkt till en betongfabrik. Detta förutsätter dock att betongfabriken har kapacitet och utrymme att förvara och eventuellt behandla sanden vilket gör att modellen med ”sandtillverkare” kan vara intressant för betongfabriker som inte har dessa förutsättningar.

### Livscykelanalys (LCA)

Inom projektet undersöktes de tekniska och miljömässiga möjligheterna med att återanvända gjuterisand som del av finfraktionen i betongballast. Fokus var på att göra det i verkliga fall med företagskonstellationer bestående av gjuteri-betongfabrik. Ur miljösynpunkt studerades även hur olika avstånd mellan aktörer påverkar miljöprestandan. Målet med livscykelanalysen var att i två olika företagskonstellationer undersöka miljöpåverkan från produktion av betong innehållande överskottssand jämfört med konventionell betong. Arbetet utgick från följande frågeställningar:

- Hur ändras miljöpåverkan i de konkreta fall där betongtillverkare övergår från sin traditionella finfraktion till gjuterisand?
- Vilka faktorer dominerar i ett livscykelperspektiv?

I livscykelanalysen (LCA) studerades två alternativa system:

- 1 Överskottssand från gjuteriet går till deponi. Sand till finfraktionen i betongballast tas från det sandtag som ligger närmast betongfabriken.
- 2 Överskottssand från gjuteriet blandas in i betongballast som finfraktion.

De företagskonstellationer som undersöktes var Gjuteri A – Betongfabrik 1 samt Gjuteri E – Betongfabrik 2. Den funktionella enheten var för fallet Gjuteri E - Betongfabrik 2 1000 kg torr betong och för fallet Gjuteri A – Betongfabrik 1 1 m<sup>3</sup> färdig betong.

I konstellationen Gjuteri E – Betongfabrik 2 fanns inget jämförbart referensfall utan enbart ett recept för Ågrenbetong, då Betongfabrik 2 i dagsläget inte har någon jämförbar produkt i sortimentet. Vid modelleringen byttes därför all gjuterisand i Ågrenbetongen ut mot naturgrus för att skapa ett referensfall. Resultaten från livscykelanalysen visar att transportavståndet här spelar stor roll för resultatet och att vid ett transportavstånd på ca 40 km skulle Ågrenbetongen varit ett självklart bättre miljöval. Resultaten visar också att trots den relativt låga andel cement som används i betong från Betongfabrik 2 blir miljöpåverkan från cement en dominerande faktor i livscykelanalysen. Om man antar att man genom att använda gjuterisand kan minska

andelen cement borde därför transportavståndet för överskottssanden kunna vara betydligt längre.

I konstellationen Gjuteri A – Betongfabrik 1 gjordes jämförelse mellan ett referensfall, Ågrenbetong som provgöts och ett framtida recept på Ågrenbetong där en del cement ersatts med överskottssand. Resultaten visar att cement dominerar miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorier. Därmed blir minskningen i miljöpåverkan allra störst för det framtida receptet där en liten andel cement bytts ut mot överskottssand. Där kan även transportavståndet för överskottssanden ökas betydligt, med 150–500 km beroende på miljöpåverkanskategori utan att miljöpåverkan blir större än för referensfallet.

### Slutsatser, nyttiggörande och nästa steg

Det går att tillverka betong av god teknisk kvalitet med gjuterisand i ballasten. Genom att använda gjuterisand i betong, minskar uttaget av sand eller krossprodukter samtidigt som en mindre mängd sand totalt tvingas till deponi.

Hur betongtillverkaren ska hantera restsand från ett gjuteri måste tas fram utifrån de förutsättningar som finns mellan de involverade aktörerna. Hänsyn måste tas till typ av gjuterisand, volymer som uppstår varje år, hur konstant eller intermittent volymerna uppstår, geografi, alternativa avsättningar, betongproducentens kravbild för de produkter sanden ska ingå i, betongfabrikens utrymme för fler fraktioner och resurser vad gäller CE-märkning av ballast med mera. I vissa fall har betongproducenten gott om plats med extra ballastfickor och proportioneringsprogram så att de lätt kan anpassa efter ytterligare sortering, samt egen kompetens och resurser vad gäller CE-märkning av betongballast. Då kan det räcka med att endast gjuteriet och betongproducenten är inblandade. I andra fall saknar betongproducenten utrymme och interna logistiksystem för ytterligare fraktion, eller kanske inte har egna resurser för CE-märkning av betongballast. Då kan det vara smidigare att en lokal ballasttåkt eller återvinningsföretag agerar mellanhand och tar emot restsand från gjuteriet, CE-märker denna och sedan blandar med befintlig 0/4 eller 0/8 i lagom proportion, innan slutlig ballastsortering levereras till en eller flera betongfabriker. I det senare fallet blir det sannolikt en transport extra, men å andra sidan kan det vara gynnsamt med avseende på stabilare volymflöden och att rätt kompetens sköter tester, CE-märkning och certifiering av sand.

Vad gäller tryckhållfasthet hos de tillverkade betongblandningarna, presterade de olika sandtyperna i följande ordning:

Referens > Vattenglas  $\geq$  Resol > Furan > Bentonit

Motsvarande resultat för pilotprojektet ÅGREN var

Referens = Furan > Vattenglas > Resol  $\approx$  Bentonit

Sandegenskaperna har oftast inte bara har med bindemedelssystemet att göra. Exempelvis kan två furansander från två olika gjuterier ha olika egenskaper beroende

på vilka bindemedelshalter och vilken härdartyp som använts, hur hårt de belastats termiskt, sandens kornstorlek och så vidare. Båda projektresultaten visar i alla fall att användning av en finfraktion som innehåller bentonitbunden formsand resulterar i en svagare betong.

Den Ågrenbetong som tillverkades i Betongfabrik 1 analyserades med avseende på totalhalt av organiska ämnen och i lakvattnet efter skaktest (L/S=10). Jämförelser gjordes mot gränsvärden för att deponera material på deponi för inert avfall och för ”mindre än ringa risk” att använda avfall i anläggningsarbeten. I laktestet överskreds gränsvärdet för parametern DOC, vilket ofta är en effekt av att ett bindemedel med esterhärdare har använts. Däremot överskreds inga övriga kravgränser för organiska eller oorganiska ämnen. Jämfört med gränsvärdena för ”mindre än ringa risk” var sulfathalten högre än gränsvärdet medan övriga ämnen var lägre.

Resultaten från livscykelanalyserna visar att cement dominerar miljöpåverkan i samtliga påverkanskategorier. Därför blir minskningen i miljöpåverkan allra störst för betongreceptet där en liten andel cement byts ut mot överskottssand. Där kan även transportavståndet för överskottssanden ökas betydligt, med 150–500 km beroende på miljöpåverkanskategori, utan att miljöpåverkan blir större än för referensfallet.

## Referenser

Gotthardsson, U. et al., 2015. *Gjuterisand i betongballast. Forskningsrapport från sip Metalliska Material*. Kommitté ÅGREN publicerad 2015-08-25.

SS-EN 1097-6:2013. Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: Bestämning av korndensitet och vattenabsorption.

SS-EN 1744-1 Ballast – Kemiska egenskaper – Del 1: Kemisk analys

RILEM Recommended Test Method: AAR-2 – Detection of Potential Alkali-Reactivity- Accelerated Mortar-Bar Test Method for Aggregated

SS-EN 933-1:2012 – Geometriska egenskaper – Del 1: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktning

SS-EN 12457-3:2003 – Karaktärisering av avfall – Laktest – Kontrolltest för utlakning från granulära material och slam – Del 3: Tvåstegs skaktest vid L/S 2 l/kg och L/S 8 l/kg för material med hög fastfashalt och med partikelstorlek mindre än 4 mm (utan eller med nedkrossning)

NFS 2010:4 – Naturvårdsverkets föreskrifter om deponering, kriterier och förfaranden för mottagning av avfall vid anläggningar för deponering av avfall.