

SBUF-rapport
Projekt nr: 11213

Datum
2004-10-28

Författare

Lutfi Ay
Skanska Asphalt och Betong
Betontechniskt Centrum

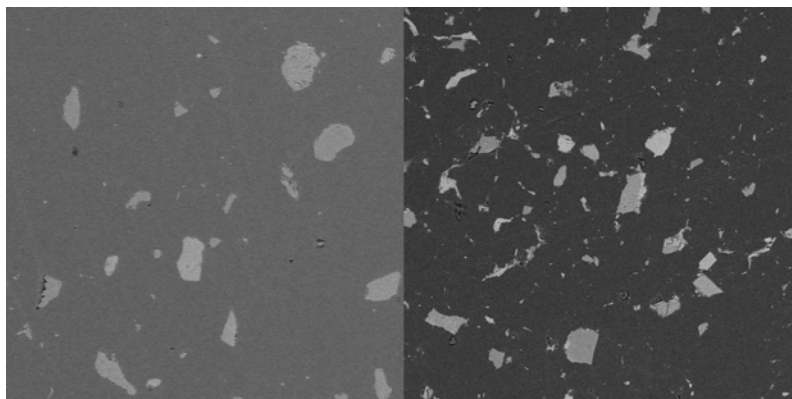
Mattias Widenbrand
Skanska Sverige

Björn Lagerblad
Cement och Betong Institutet

Pentti Piiparinen
Cementa Research

Hans Erik Gram
Cementa

KROSSAD SAND
FÖR
FABRIKSBETONGTILLVERKNING



NATUR BALLAST

KROSS BALLAST

Skanska Sverige AB

Skanska Asphalt och Betong
Betongteknisk Centrum
169 83 Solna

Förord

Detta FoU-projekt ”Krossad sand för fabriksbetongtillverkning” startades av Mattias Widenbrand och avslutades av Lutfi Ay. Petrografisk analys utfördes av Björn Lagerblad, CBI. Reologiundersökningar på cementbruk utfördes av Pentti Piiparinen, Cements Research och Hans Erik Gram, Cements AB. Undersökningar sammanfattades av Lutfi Ay, Skanska Asphalt och Betong, Betongtekniskt Centrum.

Projektet finansierades av SBUF, Cements, NCC, CBI och Skanska. Lutfi Ay tackar till alla ovannämnda fonder, institutionen, företag och personer samt Mari Karlsson NCC AB och Peter Weywadt, Sydsten AB, Mats Karlsson, Färdigbetong AB för deras bidrag till projektet

Sammanfattning

Tillgången på naturmaterial börjar minska runt om i landet och transporterna blir längre och längre. Det har därför blivit intressant att försöka ersätta naturmaterialen med bergkrossmaterial. Denna FoU-rapport ”Krossad sand för fabriksbetongtillverkning” har som mål att betongfabriker i landet skall kunna tillverka betong med enbart krossat bergmaterial som ballast.

Analysen har utförts för att fastlägga materialens karakteristik och egenskaper i cementbruk för att få fram betongrecept med helkrossad ballast. Den petrografiska analysen för de större partiklarna utfördes på tunnslip med hjälp av Polarisationsmikroskop (PM) genom punkt räkning. De mindre partiklarna analyserades med hjälp av planpolerade ytor i Svepelektronmikroskop (SEM). På fillerfraktionerna har det utförts röntgendiffraktion (XRD) på siktat pulver. Lasersiktsanalys gjordes enligt ER-metod 93/22 (intern metod hos Cementa Research) med instrumentet Malvern Mastersizer 2000. Reologisk provning genomfördes med Viskomat NT på cementbruk. Viskomaten mäter konsistensparametrarna g motsvarande flytgränsvärde och h motsvarande plastisk viskositet. Mätningarna gjordes 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats.

För att undersöka lämpliga recept för olika krossade sand, samlades krossad sand in från bergtäkter från Skanska och NCC Ballast. Bergtäkterna valdes ut så att många olika bergarter täcktes in. Prestanda av en naturballast från Underås jämfördes med 7 st krossade sandtyper. Kraven på betongens egenskaper var bland annat att uppnå ett sättmått $h \geq 200$ mm vid $t = 0$ h och $h \geq 140$ mm vid $t = 1$ h samt att erhålla ett omformningstal $n \leq 10$ vid $t = 0$ h. Ett antal olika recept testades för att uppnå ovannämnda krav för varje krossad sand.

Den krossade sandens flisighet påverkar negativt den färska betongens arbetbarhet. Med hjälp av partikelsprång, extra cement, 5 kg/m^3 samt flytmedel, 2.6 kg/m^3 kan en lika stabil och rörlig betong tillverkas som med natur sand.

Innehållsförteckning

1.1	Bakgrund	7
1.2	Målsättning	7
1.3	Syftet	8
2	Utförda undersökningar.....	8
2.1	Undersökningar för materialkaraktistik.....	8
2.1.1	Petrografisk analys	8
2.1.2	Diskussion petrografisk analys.....	12
2.1.3	Bildanalys.....	15
2.1.4	Petrologiskt/mineralogiskt bedömning	20
2.2	Undersökningar för stenmjölets egenskaper i bruk	21
2.2.1	Siktning av undersökta stenmjöl enligt SS 13 21 23 och med lasersikt.	21
2.2.2	Reologiundersökningar på bruk	26
2.2.3	Viskomat styvhetsvärden och Hägermann utbredning	27
2.2.4	Viskomat styvhetsvärden och plastisk viskositet.....	29
2.3	Undersökningar för lämpligt recept	33
2.3.1	Material som användes i prover	33
2.3.2	Strategin inför framtagande av betongrecept med helkrossad ballast	38
2.3.3	Utförandet av prover.....	38
2.3.4	Provresultat	38
2.3.5	Sammanställning av resultaten från undersökningar för lämpligt recept	53
3	Diskussioner	56
4	Slutsatser	58

1.1 Bakgrund

Inom betongindustrin används idag naturmaterial med rundad kornform och slät yta. Tillgången på naturmaterial börjar dock minska runt om i landet och transporterna blir längre och längre. Det har därför blivit intressant att försöka ersätta naturmaterialen med bergkrossmaterial. En annan aspekt som bidrar till att göra en övergång till bergkrossmaterial intressant är ett miljömål som antagits av Riksdagen. I miljömålet anges det att naturgrusproduktionen ska minska, något som kan medföra att skatten på naturgrus höjs. På grund av detta är det svårt att få täkttillstånd för naturgrusproduktion. Tillverkning av fabriksbetong med krossat bergmaterial från 2 eller 4 mm och uppåt innebär inga större problem. Dock tillstöter problem när naturmaterialet (0-4 eller 0-8 mm) byts ut mot krossat bergmaterial. Dess lämplighet för fabriksbetongtillverkning är främst beroende på petrografi, kornform och kornstorleksfördelning.

Anledningen till att börja använda enbart bergkrossmaterial vid betongtillverkning är långa transportavstånd för naturmaterialen samt ett av riksdagens 15 miljö kvalitetsmål ” God bebyggd miljö ” . Miljö kvalitetsmålet ” God bebyggd miljö ” ska ge ett ekologiskt hållbart samhälle inom en generation. Ett av delmålen är att den nationella naturgrus förbrukningen år 2010 är högst 12 miljoner ton/år vilket innebär en halvering av naturgrus förbrukningen jämfört med dagsläget. Dessutom skall andelen återanvänt material vara minst 15 % av ballastkonsumtionen. Detta för att bevara naturgrusavlagringar som har stor betydelse för dricksvattenförsörjningen och för natur- och kulturlandskapet. Förutom kravet år 2010 fanns det tidigare ett krav att den nationella naturgrus förbrukningen år 2020 skulle vara högst 3 miljoner ton/år och andelen återanvänt material vara minst 25 % av ballastkonsumtionen. Detta krav är numera borttaget. Följden av miljö kvalitetsmålet är att det blir svårt att öppna nya naturgrustäkter samt förnya tillstånden för befintliga täkter. Några av de styrmedel som kan användas för att stoppa utvinning av naturgrus är höjd naturgrusskatt, miljö balken samt aktiv planering av materialförsörjningen. I framtiden kommer det därför ske en successiv övergång till att använda krossat material vid betongtillverkning.

1.2 Målsättning

Målsättningen med projektet är att betongfabriker i landet skall kunna tillverka betong med enbart krossat bergmaterial som ballast. Detta genom att utforma rekommendationer om filler och tillsatsmedel för betongtillverkning med

helkrossad ballast. Detta också för att möta det miljö kvalitetsmål som Riksdagen har antagit.

1.3 Syftet

Syftet med projektet är att få bättre kännedom om den krossade sandens påverkan på betongens rörlighet. Detta görs genom att kartlägga vilka parametrar som är betydelsefulla för reologin. Dessutom syftar projektet till att undersöka möjligheterna att förbättra ballastmaterialet och betongens reologi med hjälp av olika produktionsmetoder och tillsatsmedel. Genom att få bättre kännedom om ballastmaterialets egenskaper samt vilket tillvägagångssätt som ska användas med avseende på produktion, tillsatsmedel och fillermaterial är det möjligt att använda krossat material i en större utsträckning inom betongtillverkning. Även asfaltindustrin kommer att kunna använda sig av resultaten då man i dagsläget är tvungna att reducera andelen fint material i den krossade sanden. Ett större användningsområde för krossad sand medför att mängden deponerat material kan minskas.

2 Utförda undersökningar

Utförda undersökningar kan indelas i tre grupper. Analyser har utförts för att fastlägga materialens karakteristik och egenskaper i cementbruk för att få fram betong recept med krossad sand.

2.1 Undersökningar för materialkarakteristik

De undersökningar som utfördes inom detta projekt har fortsatt i ett nytt projekt som även detta behandlar att tillverka betong med krossat berg (MinBas). Det som redovisas här är delvis finansierat av det nya projektet och kommer därför att även redovisas av detta.

2.1.1 Petrografisk analys

Den petrografiska analysen utfördes på tunnslip genom punkträkning i ett petrografiskt polarisationsmikroskop. Tunnslipen preparerades genom att grus från olika siktfraktioner placerades och skakades milt i stående rörformade provhållare. Hålrummen fylles med epoxi så att fast kropp bildades. Denna kropp sågades i längd/sedimentationsriktningen och tunnslip tillverkades. Tunnslip är ett preparat som sågats och polerats så tunt (25 μm) att ljus kan penetrera, vilket möjliggör en petrografisk identifikation.

Tunnslipet förflyttades på ett stegbord med ett förutbestämt avstånd så att nya punkter kom fram i mikroskopet. Analysen utfördes så att om punkten träffar

ett rent mineralkorn identifieras och registreras detta. Tvåhundrafemtio punkter analyserades i varje tunnslip Två eller flera mineral räknas som bergart. Om man i denna bergart träffar ett saliskt (ljus) mineral räknas det som en salisk bergart. De typiska saliska mineralerna är kvarts, plagioklas, fältspat, epidot och muskovit. Graniterna är i allmänhet dominerade av saliska mineral. Om punkten träffar ett mafiskt (mörkt) mineral så räknas det som en mafisk bergart. De typiska mafiska mineralerna är ambifol, pyroxen och biotit. Mafiska mineral är typiska för basiska ” mörka ” bergarter som gabbro diabas etc.

I mineraluppdelningen har biotit och muskovit slagits samman som glimmer då båda har samma kornform och därför beter sig på samma sätt i betong. Av samma anledning har alkalifältspat och plagioklas slagits samman som fältspat. Hornblände är ett mineral i amfibolgruppen. Då amfibolen identifierats som hornblände använts detta namn.

Tabell 1: Petrografisk analys i tunnslip av mineralkorn i de olika siktfraktionerna. De flakiga skiktmineralen biotit och muskovit betecknas som glimmer. Analysen är gjorda på snittade korn i polarisationsmikroskop

0.075-0.125 sikt							
Min/berg	Kleva	Kolmetorp	Vambåsa	Underås	Kungälv	Luleå	Olunda
Kvarts	37.3	38.3	36.3	48.0	31.3	44.0	33.3
Fältspat	51.6	23.6	47.6	25.3	20.6	18.8	25.0
Glimmer	0.6	22.3	4.0	3.3	13.0	24.8	13.0
Hornbländ	-	0.6	-	3.6	21.3	6.4	19.0
Pyroxen	-	-	-	-	-	-	-
Salisk	5.0	8.3	6.3	13.6	-	1.2	4.0
Mafisk	3.0	3.6	2.3	5.6	-	3.2	5.0
Övriga	2.3	1.0	1.3	0.30	5.6	1.6	0.6

0.125-0.250 sikt							
Min/berg	Kleva	Kolme	Vamb	Underå	Kungälv	Luleå	Olunda
Kvarts	33.0	25.0	39.0	37.6	21.3	39.2	18.0
Fältspat	54.3	30.3	33.3	20.3	21.3	18.0	33.0
Glimmer	0.6	20.3	4.0	2.3	25.0	23.6	17.0
Hornblände	0.3	-	-	1.6	15.0	2.0	11.3
Pyroxen	-	-	-	-	-	-	-
Salisk	10.0	17.3	20.0	32.0	10.3	12.0	12.3
Mafisk	1.0	5.6	0.6	5.6	4.6	4.0	8.0
Övriga	-	-	2.0	0.3	2.3	1.2	-

0.250-0.500 sikt

Min/berg	Kleva	Kolme	Vamb	Underå	Kungälv	Luleå	Olunda
Kvarts	33.6	13.6	20.6	25.3	12.3	20.0	10.6
Fältspat	40.0	20.0	19.6	22.6	8.0	18.8	26.6
Glimmer	0.3	10.0	2.0	0.6	21.3	6.4	14.6
Hornblände	-	-		0.3	6.3		6.3
Pyroxen	-	-					
Salisk	24.3	46.3	55.6	44.0	33.6	42.4	28.8
Mafisk	1.3	9.0	1.0	6.3	18.3	11.2	13.3
Övriga	0.3		1.0				

0.500-1.0 sikt

Min/berg	Kleva	Kolme	Vamb	Underå	Kungälv	Luleå	Olunda
Kvarts	11.3	6.3	5.6	12.3	2.3	1.0	5.3
Fältspat	19.6	8.6	7.0	14.6	1.6	4.8	14.6
Glimmer	0.3	3.3		0.3	4.3	1.6	10.3
Hornbländ	-	-			1.0		2.3
Pyroxen	-	-					
Salisk	66.6	73.0	85.3	66.3	65.6	83.6	53.3
Mafisk	1.3	8.0	2.0	6.3	25.0	8.4	14.0
Övriga	0.6						

1.0-2.0 mm sikt

Min/berg	Kleva	Kolme	Vamb	Underå	Kungälv	Luleå	Olunda
Kvarts	4.5	1.6	1.0		0.6	2.5	Ej anal
Fältspat	12.5	3.3	1.0		1.0	0.5	
Glimmer		0.3			1.0		
Salisk	81.6	82.0	93.6		74.0	81.5	
Mafisk	1.2	12.6	1.6		23.0	15.5	

De mindre partiklarna analyserades med hjälp av planpolerade ytor i Svepelektronmikroskop (SEM). Filleren siktades i en trådsikt med maskvidd 38 µm. Proven rördes ut i epoxi och provkroppar göts i små plastkroppar. Provkropparna sågades i sedimentationsriktningen och ytorna planpolerades för analys i SEM. Analys i SEM tillåter en mera detaljerad mineralogisk beteckning vilken används i Tabell 2. Exempelvis är det svårt att särskilja biotit och klorit i tunnslip men det är enkelt i SEM. Alla kornen i fillerfraktionen är enskilda mineral.

Tabell 2: Petrografisk analys genom punkträkning på snittade planpolerade ytor SEM

< 38 μ m sikt					
Mineral	Kungälv	Kleva	Vambåsa	Luleå	Kolmetorp
Kvarts	13.3 %	32.1	24.4	25.2	15.0
Plagioklas	28.2	21.2	29.1	39.8	21.4
Kalifältspat		38.7	43.8	19.9	32.4
Biotit	16.0	6.1		11.1	15.6
Muskovit					
Hornblände	26.6			3.8	
Epidot	9.0				
Kalcit					
Klorit	7.2	1.9			15.6
Fe-oxid			2.6		
Antal korn	188	212	196	206	173

Svepelektronmikroskop < 38 -63 μ m						
Mineral	Kungälv	Kleva	Vambåsa	Luleå	Kolmetorp	Hardeberga
Kvarts	19.1	30.6	27.9	24.6	22.0	78.6
Plagioklas	31.6	26.0	26.5	42.9	20.1	
Kalifältspat	3.8	43.4	43.4	11.3	31.6	13.3
Biotit	11.0		2.3	14.8	11.5	
Muskovit						8.1
Hornblände	21.1			3.4		
Epidot	13.4					
Kalcit					2.6	
Klorit				3.0	12.0	
Antal korn	209	219	219	203	209	210

På fillerfraktionerna har det även utförts röntgendiffraktion (XRD) på siktat och därefter malt pulver. XRD undersökningarna är ett snabbt och billigt sätt att fastställa fillerkaraktär. Den här metoden ger en kvalitativ/semikvantitativ bedömning av alla ingående kristallina komponenter.

Tabell 3: Röntgendiffraktion (XRD). Siffervärdena ger intensitet hos respektive mineraltopp. Intensiteten ger en semikvantitativ bedömning av mängden i varje prov

< 38 μ m (sikt)								
Min/berg	Kleva	Kolme.	Vamb.	Kungä.	Luleå	Olunda	Under.	Harde.
Kvarts	1318	955	1376	552	918	762	1722	3457
Fältspat	5030	2952	4174	1090	3800	2261	3534	1095
Glimmer	380	942	286	1980	1823	692	835	538
Klorit	1019	1904	270	713	426	862	1764	160
Hornblän	222	470	859	3956	802	3994	797	0

37–63 μ m (sikt)

Min/berg	Kleva	Kolme.	Vamb.	Kungälv	Luleå	Olunda	Underås
Kvarts	1764	692	1376	384	773	1239	1122
Fältspat	8085	2219	10722	378	3076	764	4539
Glimmer	286	1910	1347	3364	2673	1267	1521
Klorit	1468	3031	945	608	344	1338	2493
Hornbländ	691	0	840	1709	98	4147	3160

2.1.2 Diskussion petrografisk analys.

De analyserade bergarterna, förutom Hardeberga, är olika prekambrisk gnejser och graniter från den Svenska urbergsskölden. Hardeberga är en kambrisk kvartsitisk sandsten från Skåne som domineras av kvartskorn sammankittade med silika.

Den petrografiska analysen baseras på innehållet i de olika siktfraktionerna. Bland kornen finns både bergarter och enskilda mineral. En bergart består i grunden av enskilda mineral och vid krossning kommer de finare fraktionerna att anrikas på mineral. Detta beror på att gränsen mellan olika mineral är den svagaste punkten i en bergart och att krossningen därmed frigör mineral. En grovkornig bergart har större mineralcorn vilket medför att man kommer att få rena mineral i grövre fraktioner. Med utgångspunkt från mängden rena mineral respektive bergart får man därför en uppfattning om hur grov bergarten är. I tabell 4 finns en beräkning av när i siktcurvan materialet domineras av mineral respektive bergart. Den fraktion i vilken mängd bergart är större än mineral benämns mineralgräns. Vilka mineral som ingår i olika fraktioner och var mineralgränsen går är av stor betydelse för förståelsen och tolkningen av kornens form i bildbehandling. När det gäller mineral så kommer mineralens specifika kornform att bestämma formen.

Tabell 4: Tabell som visar fördelning mellan mineral och bergart i de olika krossgrusen. Data från tabell 1. Mineralgräns, definierad som $\frac{1}{2}$ av mineral/bergart, markerad med rött

	Kleva	Kolmet	Vambås.	Underås	Kungälv	Luleå	Olunda
0.075-0.125	1(*)	2	1	2	1	1	1
0.125-0.250	2	2	2	2	2	2	2
0.250-0.500	2	3	3	3	3	3	3
0.500-1mm	3	4	4	4	5	5	4
1-2 mm	4	5	5		5	5	
Betecknas	Grov kornig	Medel kornig	Medel kornig	Medel kornig	Medel kornig	Medel kornig	Medel kornig

(*) Mängd mineral i %

1= > 90 %,

2= 90-60 %,

3= 60-40 %, (mineralgräns)

4= 40-10 %,

5= < 10 % mineral.

Från Tabell 4 kan vi se att det endast finns en distinkt grovkornig bergart, Kleva. Kolmetorp är något finkornigare än de andra då det innehåller mera än 10 % ” bergart” i den finaste fraktionen. Analysen baseras på krossprodukten men den korrelerar till den verkliga bergartstexturen. Den petrografiska analysen är att betrakta som en petrografisk analys anpassad till krossgrus. Man kan emellertid med detta betraktelsesätt även klassa in naturgrus.

Med utgångspunkt från den petrografiska analysen kan man klassa in det som bergart. I verkligheten innehåller de bergarter som krossas olika komponenter. Exempelvis finns det ofta gångar av diabas etc., som slår igenom en täkt som är klassificerad som granitisk. Detta medför att man får mineralkombinationer som inte finns i en ren bergart. Typiskt är att en del av krossgrusen innehåller mycket hornblände som antagligen kommer från diabasgångar. Kungälv är en blandbergart med många typer av bergarter. Man kan emellertid använda bergartsklassificeringsystem som bygger på mineralmängd.

Kornformen i ett grus bestäms dels av bergartens textur dels av de enskilda mineralens kornform. Det är en av de viktigaste parametrarna när det gäller betongs rörlighet. Som kommer att visas senare så ger flakiga korn ger problem med rörligheten. Glimmern (biotit och muskovit) är flakiga mineral och ställer till med problem. Tabell 5 visar mängden glimmer i olika fraktioner i de olika krossgrusen. Från detta kan vi dela upp materialen i två grupper där Kolmetorp, Kungälv, Luleå och Olunda är rika på glimmer medan Kleva,

Vambåsa och naturgruset har låga halter av dessa mineral. En del av krossgrusen, som Kungälv och Olunda innehåller rikligt med hornblände.

Tabell 5: Mängd fri glimmer i respektive fraktion. Data från Tabell 1

Fraktion	75-125 µm	125-250	250-500	0.5-1.0 mm	1.0-2.0
Kleva	0.6	0.6	0.3	0.3	0
Kolmetorp	22.3	20.3	10.0	3.3	0.3
Vambåsa	4.0	4.0	2.0	0	0
Underås	3.3	2.3	0.6	0.3	0
Kungälv	13.0	25.0	21.3	4.3	1.0
Luleå	24.4	23.6	6.4	1.6	0
Olunda	13.0	17.0	14.6	10.3	0

Mängden filler (fraktionen under 68 µ m sikt) och fillerns egenskaper är viktiga för att förstå betongens egenskaper. Det är också den fraktion som är svårast att analysera då kornen är så små. Analysresultaten från SEM visar att fillern från krossat berg innehåller ungefär samma mineral som fraktionen 75-125 µ m.

Tabell 6: Jämförelse mellan fillerfraktioner och 75-150 µm fraktionen.

Röntgendiffraktion (XRD) ger en indikation på vad fillern innehåller. Man kan jämföra SEM och XRD analyser. Dessa resultat visar att man kan få en uppfattning om mineralinnehållet i fillern genom röntgendiffraktion (XRD)

	Kvart			Fsp			Gli+ Klor			Amf		
	<38	38/63	75/125									
Kungä	13.3	19.1	31.3	28.2	19.1	20.6	23.2	11.0	13.0	26.6	21.1	21.3
Kleva	32.1	30.6	37.3	59.9	30.6	51.6	8.0	0	0.6			
Vamb	24.4	27.9	36.3	72.9	27.9	47.6	0	2.3	4.0			
Luleå	25.2	24	44.0	59.7	24.6	18.8	11.1	17.8	24.8	3.8	3.4	6.4
Kolme	15.0	24.6	38.3	53.8	22.0	23.6	31.2	23.5	22.3			

SEM är en mycket dyrbar analysmetod men som tabell x visar så ger röntgendiffraktion en bra uppskattning av mineralen i fillerfraktionen. Fillern innehåller nästan alltid endast mineral. En intressant observation är att fillern inte innehåller någon lera utan endast bergartmineral. Lera som vittringsprodukt är vanlig i naturgrus och i detta avseende skiljer sig krossgrus och naturgrus. Lera är oftast små flakiga partiklar och är negativa vid betongtillverkning. Detta medför att om fillern från krossgrus är rik på fältspat och kvarts så är den filler bättre än den från naturgrus och att man därmed kan acceptera högre halter av filler.

Tabell 7: Indelning av krossgrusen i bergarter baserat på mineralinnehåll

Bergart	Salisk granit	Mafisk granit	Granodiorit
Underås	×		
Olunda			×
Vambåsa	×		
Kungälv			×
Luleå		×	
Kolmetorp		×	
Kleva	×		
Hardeberga	×		

2.1.3 Bildanalys

De grövre partiklarna har analyserats med hjälp av tunnslip i polarisationsmikroskop medan fillern har analyserats i svepelektronmikroskop. De har analyserats både med avseende på liggande och snittade korn. I en tvådimensionell analys av snittade korn kommer både avlånga/stängliga och flakiga att framträda som avlånga. Med liggande korn kan man särskilja avlånga korn från flakiga då de flakiga kommer att framträda som runda/kubiska. För en geometrisk analys måste man därför göra båda analyserna. För de olika krossprodukterna har alla fraktioner bearbetats separat.

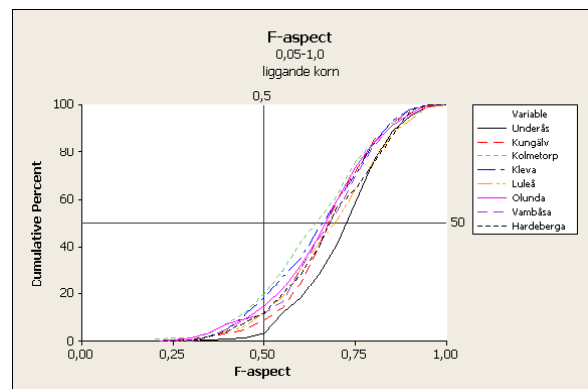
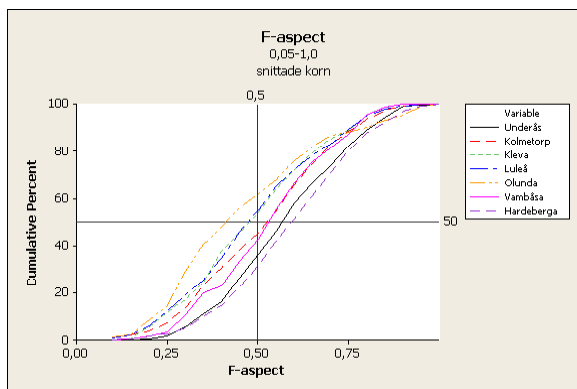
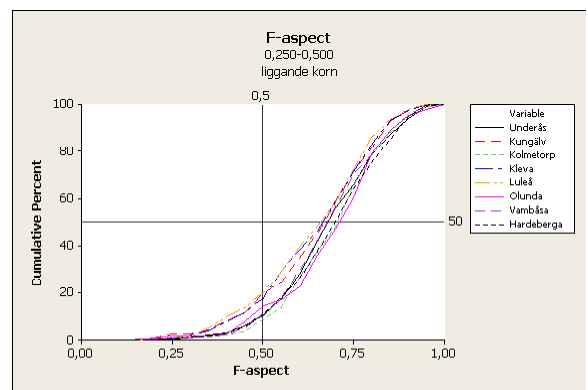
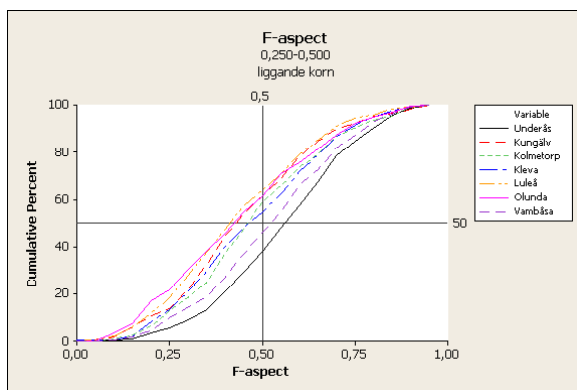
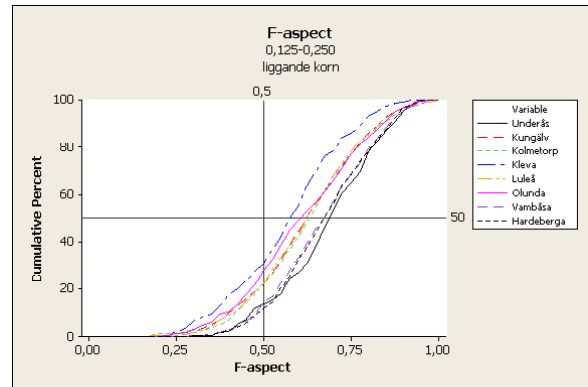
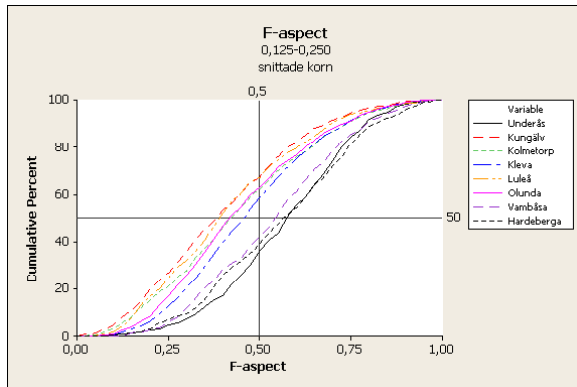
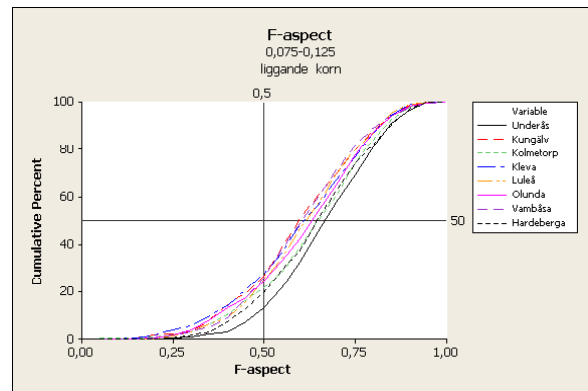
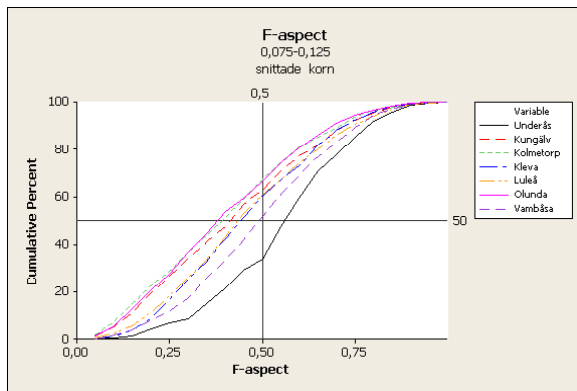
Med bildbehandling kan man få fram många olika mätvärden. Vad vi främst har velat få fram är flakighet och stänglighet. Detta får man fram genom att mäta längsta och kortaste avstånd i varje partikel. På oregelbundna partiklar kan detta dock ge fel information. Det mätvärde som vi funnit vara bäst är F-aspekt som gör om partikeln till en ekvivalent ellipsoid på vilken man mäter längsta och kortaste avstånd. F-aspekt är kortaste genom längsta avstånd vilket medför att låga värden ger en mera avlång form. Data är redovisad i Figur 6 som visar kumulativa diagram. Varje Figur baseras på mellan 300 och 800 korn.

Om man jämför de olika krossprodukterna kan man se att det finns en stor variation speciellt på snittade preparat. Analysen på de liggande kornen visar att ingen av krossprodukterna innehåller speciellt hög halt av stängliga korn. Naturgruset är som förväntat något rundare än krossgruset. Materialet blir också något rundare med större kornstorlek. Detta beror antagligen på att mineral generellt är något flakigare än bergarter. Amfiboler kan vara stängliga (asbets är en amfibol) men hornblände är relativt kubisk. Visuellt verkar fältspat vara det mest stängliga mineralet.

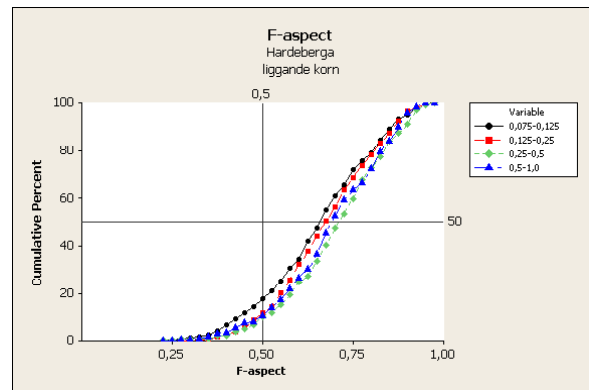
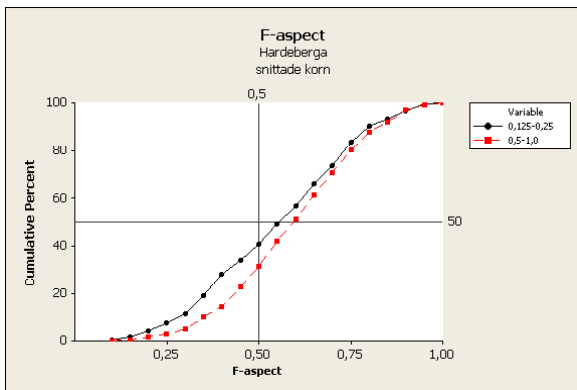
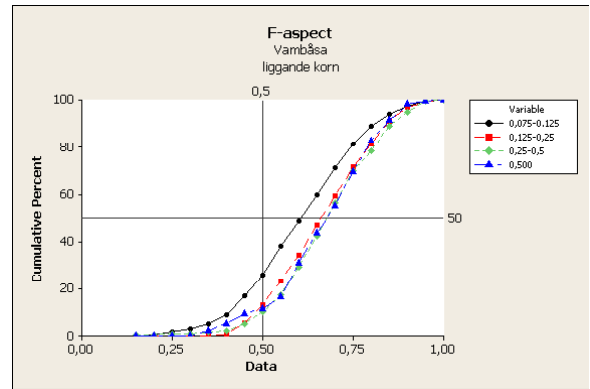
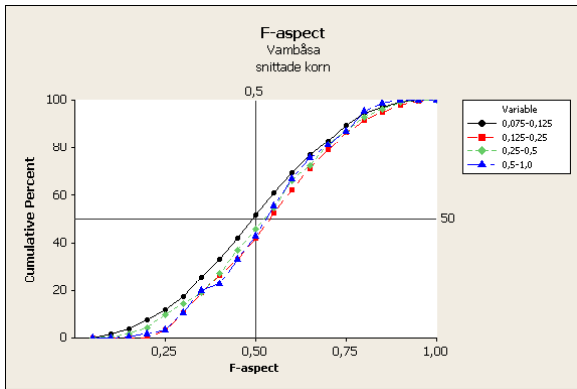
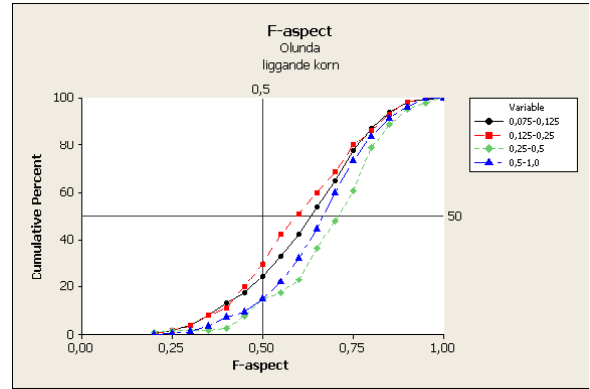
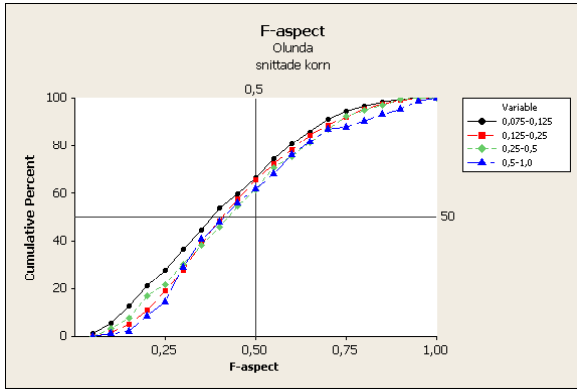
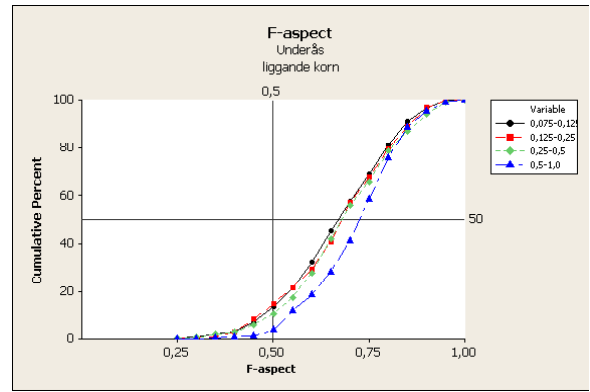
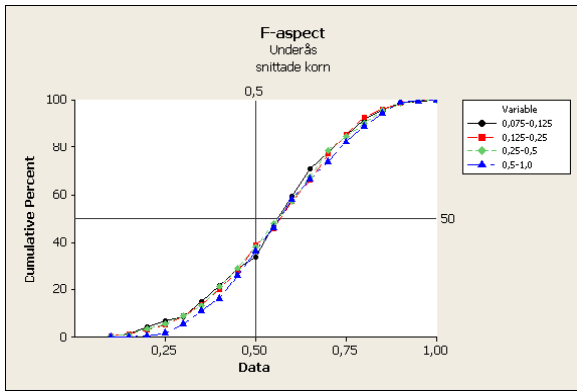
Då inga av krossgrusen innehåller stängliga partiklar visar de snittade kornen huvudsakligen en effekt av flakighet. Naturgruset är som förväntat minst

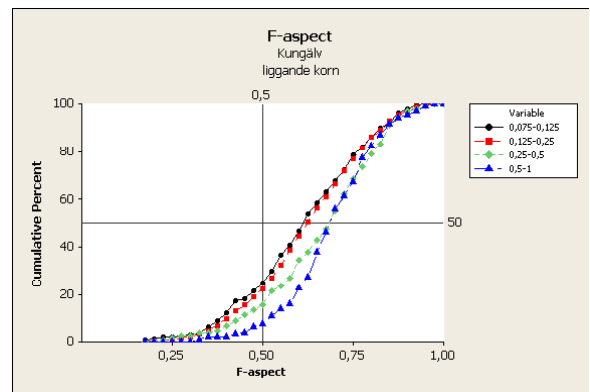
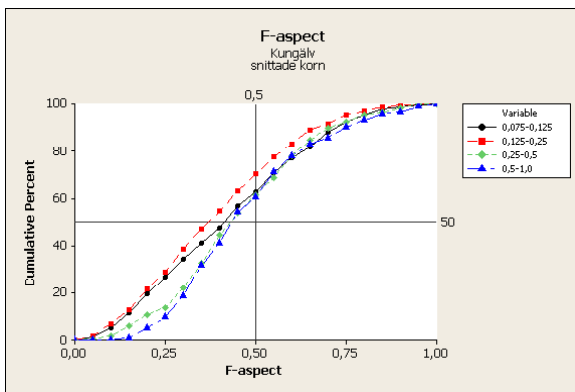
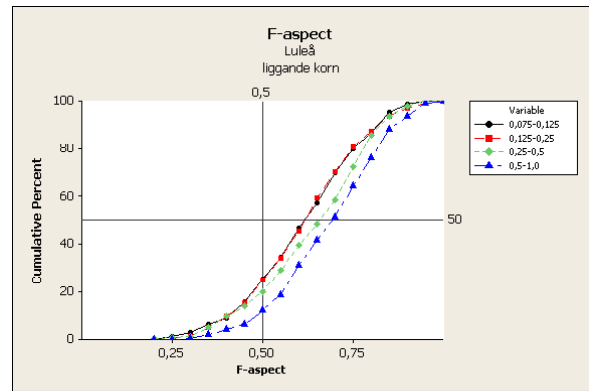
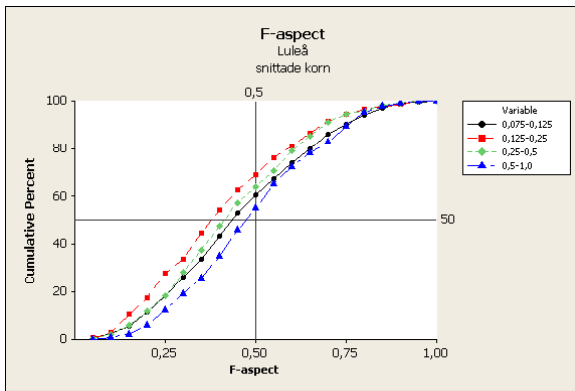
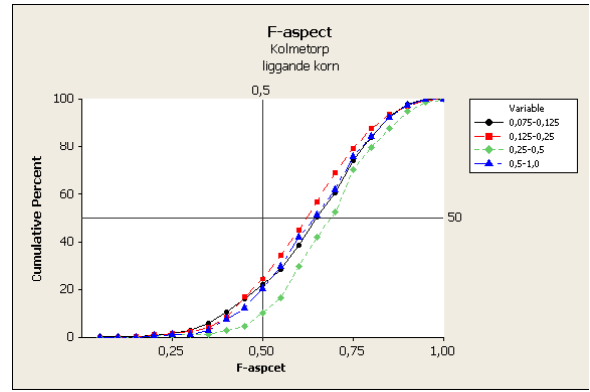
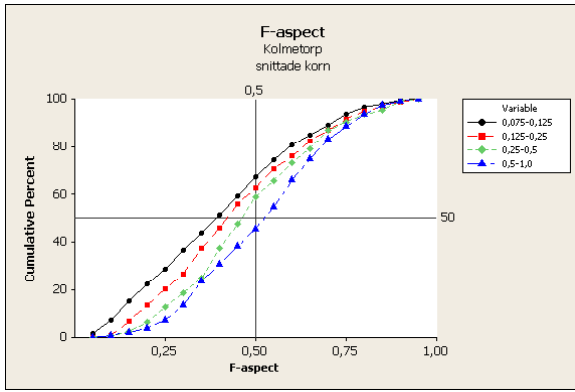
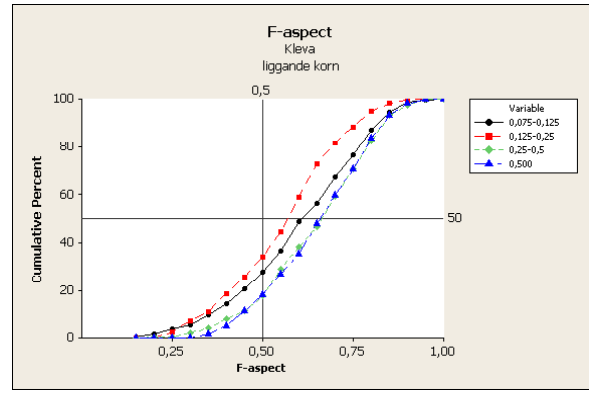
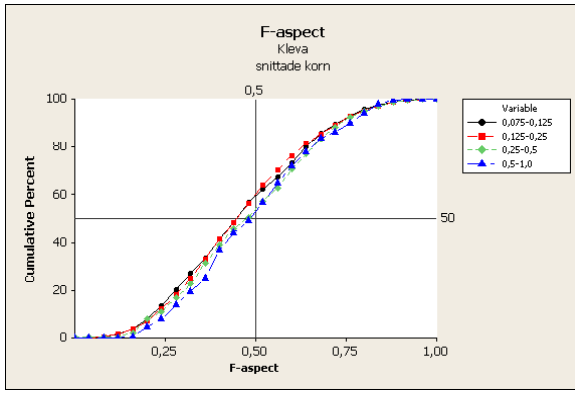
flakigt. Om man jämför de olika fraktionerna kan man observera att flakigheten minskar med ökande kornstorlek. Detta beror antagligen på att flakigheten huvudsakligen beror på glimmer och att glimmermängden minskar med ökande kornstorlek (se petrografisk analys).

Om man jämför de olika krossgrusen så är det från Hardeberga minst flakigt. I mikroskop kan man observera en viss flisighet. Detta beror på att kvarts kristallstruktur som inte ger distinkta klåv. Det klyver sig något som glas och ger flis. Kleva och Vambåsa ger också relativt kubiskt material. Vambåsa är mest kubisk. Typiskt för dessa två är att glimmerinnehållet är mycket lågt. Kolmetorp har flakigt material i de finare fraktionerna men ganska kubiskt i de grövre. Materialet från Olunda, Kungälv och Luleå har liknande kornform även om speciellt det från Luleå förbättras något vid ökande kornstorlek.



Korrektion: 0.05-1.0 skall vara 0.5-1.0 mm. F-aspekt 0.250-0.500 liggande skall vara snittade





2.1.4 Petrologiskt/mineralogiskt bedömning

1- Underås:

Bergarterna som givit Underås har varit rika på kvarts vilket indikerar ett huvudsakligen granitisk ursprung. Halterna av mafiska mineral är låg vilket antagligen beror på att dessa mineral brutits ner under bildningen av det glacifluviala gruset. Under bildningen har gruset eroderats och rundats vilket har givit det en bra rund/kubisk kornform.

2- Olunda:

Berget innehåller relativt lite kvarts vilket gör den till en granodiorit. Halten mafiska mineral är hög, både halten biotit och hornblände. Mineralgränsen ligger mellan 0.25–0.50 mm vilket gör gruset medelkornigt. Typiskt är den höga halten av speciellt hornblände. Kornformen är generellt ganska flakig beroende på ganska mycket glimmer i alla fraktionerna. Den höga halten hornblände verkar inte påverka kornformen negativt.

3- Vambåsa:

Berget innehåller rikligt med fri kvarts vilket gör den till en granit. Mineralgränsen ligger mellan 0.25–0.50 mm vilket gör den medelkornig. Halten biotit är låg och bergarten betecknas salisk granit. Kornformen är bra i alla fraktioner. Med rätt kornkurva bör den vara bra som betonggrus.

4- Kungälv:

Berget innehåller fri kvarts men i relativt små mängder. Den betecknas därför som granodiorit. Mineralgränsen ligger över 0.50 mm vilket ger en medelkornig bergart. Halten mafiska mineral (hornblände och biotit) är relativt hög. Detta beror antagligen på inblandning av diabasgångar/amfibolitpartier. Typiskt är den relativt höga halten av både biotit och hornblände i fraktionerna upp till 0.50 mm. Kornformen förbättras något men är ganska negativ i alla fraktioner.

5- Luleå:

Berget innehåller relativt mycket fri kvarts, vilket gör den till en granit. Mineralgränsen ligger mellan 0.25–0.50 mm vilket gör gruset medelkornigt. Halten mafiska mineral är relativt hög och gör berget till en intermediär granit. Typiskt är den relativt höga halten biotit och inblandningen av hornblände. Mängden glimmer sjunker och kornformen förbättras i större fraktioner.

6- Kolmetorp:

Berget innehåller rikligt med fri kvarts vilket gör den till en granit. Mineralgränsen ligger 0.25–0.50 mm vilket gör den medelkornig. Biotithalten

är hög i alla fraktioner upp till 0.50 mm vilket gör att den betecknas som mafisk granit. Den sjunkande glimmerhalten gör att kornen blir bättre i de större fraktionerna.

7- Kleva:

Berget innehåller rikligt med fri kvarts och fältspalt vilket tyder på en salisk granit. Mineralgränsen ligger på över 0.50 mm vilket tyder på att den är relativt grovkornig. Typiskt är den mycket låga halten av biotit i alla fraktioner. Kornformen är bra och med rätt kornkurva bör krossgruset ge.

8- Hardeberga: Gruset domineras av kvartspartiklar, ofta flera sammansatta i "bergart". Texturen och mineralogin återspeglar att det är en typiskt fin- till medelkornig kvartsitisk sandsten. Kornformen är relativt kubisk men ej lika kubisk som naturgrus. Krossgruset bör vara lämpligt som krossgrus.

2.2 Undersökningar för stensmjölets egenskaper i bruk

2.2.1 Siktning av undersökta stensmjöl enligt SS 13 21 23 och med lasersikt.

Tabell 8, Tabell 9, Tabell 10 och Tabell 11 och Figur 1, Figur 2, Figur 3 och Figur 4 visar resultatet av siktningen på samtliga material (0-2 mm, 0.063-2 mm och 0.25-2mm) samt beräknade värden då 15 volym % Limus 40 ingår i 0.25 - 2 mm materialen. Finhetsmodulen har beräknats enligt SS 13 21 26. I finhetsmodulens beräkning ingår fraktioner ner till 0.125 mm (det värdet halveras jämfört med större siktstorlekar allt enligt standarden).

En del finmaterial <0.075 kvarstår i materialen 0.063-2 mm. För att se hur materialet ser ut efter avlägsnandet av <0.063 så siktades Olunda 0.063-2 mm både som SS 13 21 26 och med våtsiktmetod. Som det framgår av Tabell 8 så finns det en del <0.075 kvar i Olunda 0.063-2.

Att materialet varierar i sig eller att provuttaget kan göra att materialets siktade resultat varierar visar siktningen av Kolmetorp 0-2mm. Innan Kolmetorp-provet anlände mottog vi en pall med Kolmetorp 0-2 mm (Förprov) där vi delade ner ett 5 kg:s prov och siktade. Resultatet av den siktningen skiljer sig från ordinarie Kolmetorp-prov. Hardeberga 0.063-2 materialet tog slut varför något siktresultat inte finns.

Tabell 11 och Figur 4 visar att samtliga 0.25-2 mm material tillsammans med 15 volym % Limus 40 har en kornfördelning som ligger nära naturmaterialet

Underås 0-2 mm utan bortsiktning av material <0.25 och utan Limus 40. Underås 0-2 mm har lite mindre material passerande på de två minsta siktarna och lite mer på 0.25 mm sikten. Vambåsa 0.25- 2 mm skiljer sig lite från övriga material.

Tabell 8: Siktresultat 0-2 mm

Sikt [mm]	Kolmet. 0-2	Hardeb. 0-2	Vamb. 0-2	Olunda 0-2	Kleva 0-2	Kungälv 0-2	Luleå 0-2	Underås 0-2	Norm sand	Kolmet. 0-2 fp
4	99.6	100.0	100.0	100.0	98.3	99.7	100.0	100.0	100.0	98.9
2	88.8	95.0	96.3	97.4	84.2	97.1	100.0	99.7	100.0	74.0
1	63.8	64.9	72.5	71.6	58.2	75.6	69.6	71.6	68.3	53.2
0.5	42.9	43.8	54.2	50.6	37.0	58.0	49.1	42.5	33.4	36.1
0.25	28.0	22.1	39.7	35.5	23.2	38.5	35.3	21.2	23.9	23.4
0.125	15.7	7.0	24.1	22.3	13.5	18.9	21.6	8.6	4.9	12.7
0.075	9.7	2.3	14.9	14.8	9.1	9.9	13.8	5.1	0.2	6.6
Fin. Mod.	2.19	2.21	1.75	1.84	2.42	1.72	1.85	2.11	2.22	2.58

Tabell 9: Siktresultat 0.063-2 mm

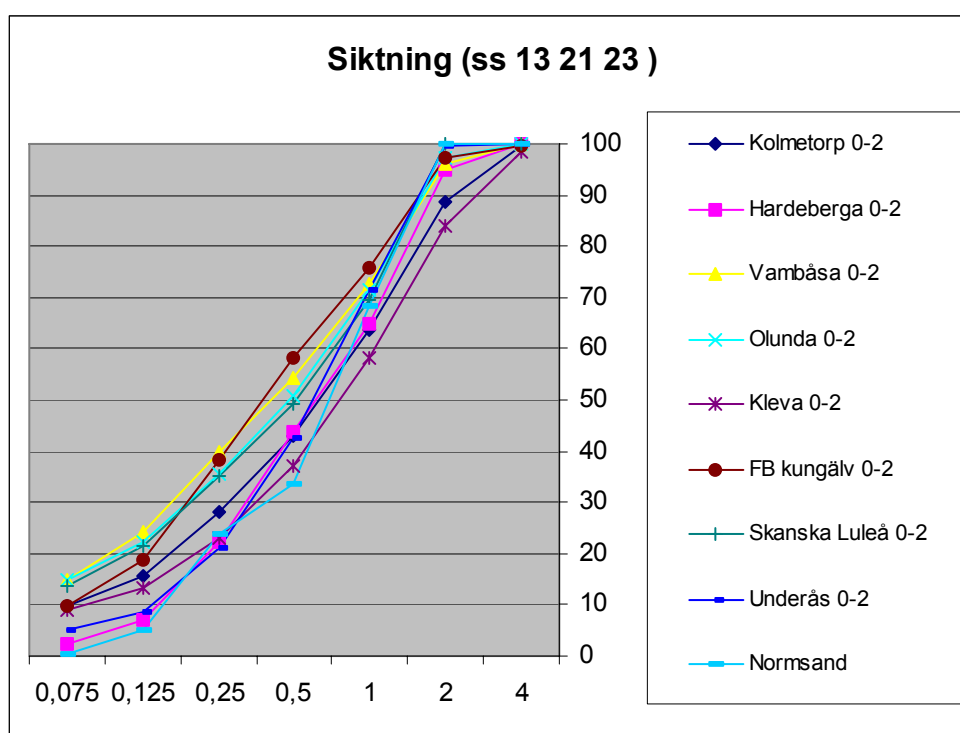
Sikt [mm]	Kolmet. 0.063-2	Hardeb. 0.063-2	Vambåsa 0.063-2	Olunda 0.063-2	Kleva 0.063-2	Kungälv 0.063-2	Luleå 0.063-2	Underås 0.063-2	Olunda 0.063-2 våtsikt
4	100.0	-	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	99.6	-	100.0	99.7	100.0	100.0	100.0	99.7	99.6
1	68.0	-	76.3	69.1	64.6	72.0	68.0	69.6	69.9
0.5	42.6	-	56.4	44.7	37.0	50.2	45.4	41.6	47.0
0.25	25.0	-	39.1	28.0	20.1	29.5	29.9	20.3	30.5
0.125	10.7	-	19.2	13.5	7.8	10.9	14.1	6.4	15.8
0.075	4.0	-	7.4	5.5	2.2	3.3	4.6	2.4	8.3
Fin. Mod.	2.09	-	1.69	2.02	2.24	1.93	2.00	2.16	1.95

Tabell 10: Siktresultat 0.25-2 mm material samt Limus 40

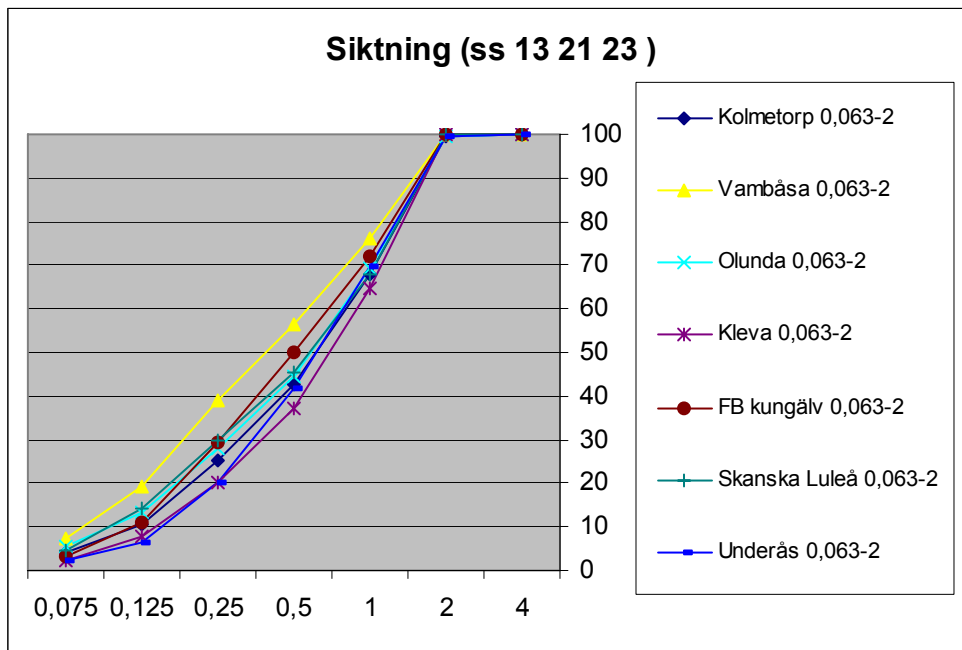
Sikt [mm]	Kolmetor p 0.25-2	Hardeber ga 0.25-2	Vambåsa 0.25-2	Olunda 0.25-2	Kleva 0.25-2	kungälv 0.25-2	Luleå 0.25-2	Underås 0.25-2	Limus 40
4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	99.8	99.8	99.8	99.8	99.9	99.9	99.8	99.7	100.0
1	63.3	70.7	67.5	62.7	62.6	63.1	59.2	70.5	100.0
0.5	27.4	40.5	38.6	29.3	25.3	32.7	26.2	35.2	98.9
0.25	1.1	1.1	13.5	1.8	0.6	2.7	1.6	2.7	93.1
0.125	0.1	0.1	2.4	0.4	0.1	0.2	0.4	1.0	75.5
0.075	0.1	0.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.2	0.5	39.3
Fin. Mod.	2.58	2.38	2.29	2.56	2.62	2.52	2.63	2.41	0.20

Tabell 11: Beräknade resultat med 15 volym % Limus 40 i 0.25-2 mm materialen. Underås 0-2 mm utan Limus 40

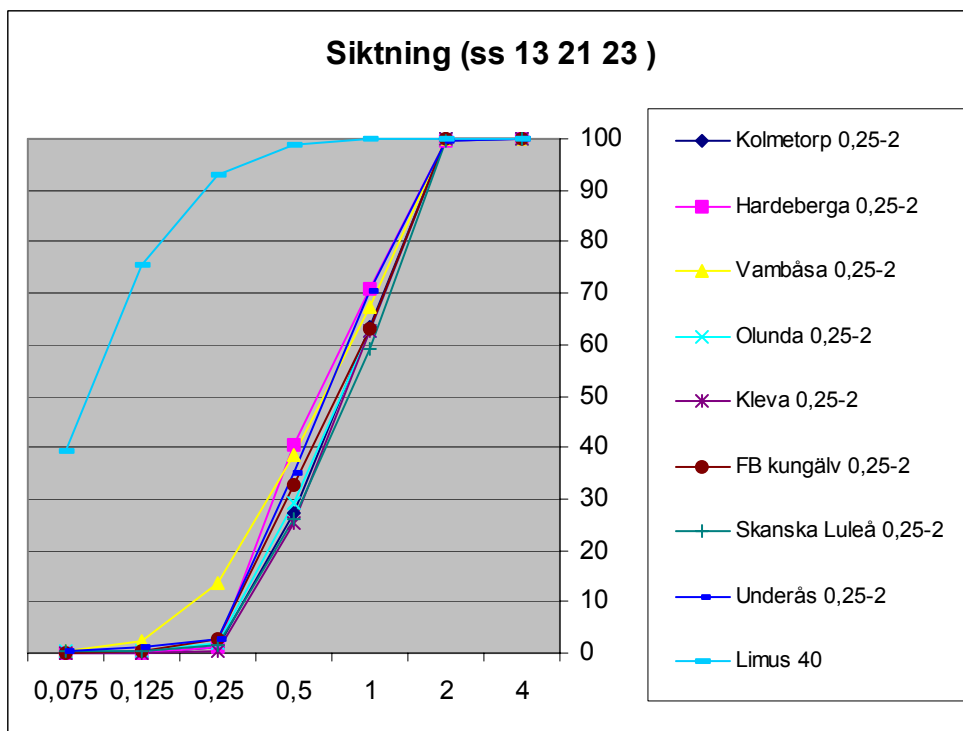
Sikt [mm]	Kolmetor p 0.25-2	Hardeb. 0.25-2	Vambåsa 0.25-2	Olunda 0.25-2	Kleva 0.25-2	Kungälv 0.25-2	Luleå 0.25-2	Underås 0.25-2	Underås 0-2
						FB			
4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	99.8	99.8	99.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.7	99.7
1	68.6	74.9	72.1	68.3	67.9	68.7	65.2	74.8	71.6
0.5	37.7	48.9	47.2	39.8	35.8	42.8	36.8	44.4	42.5
0.25	14.3	14.3	24.8	15.6	13.8	16.3	14.9	15.7	21.2
0.125	11.0	10.9	12.8	11.7	10.9	11.6	11.4	11.8	8.6
0.075	5.8	5.7	6.0	6.1	5.7	6.0	6.0	6.1	5.1
Fin.									
Mod.	2.24	2.07	2.00	2.21	2.27	2.16	2.28	2.10	2.11



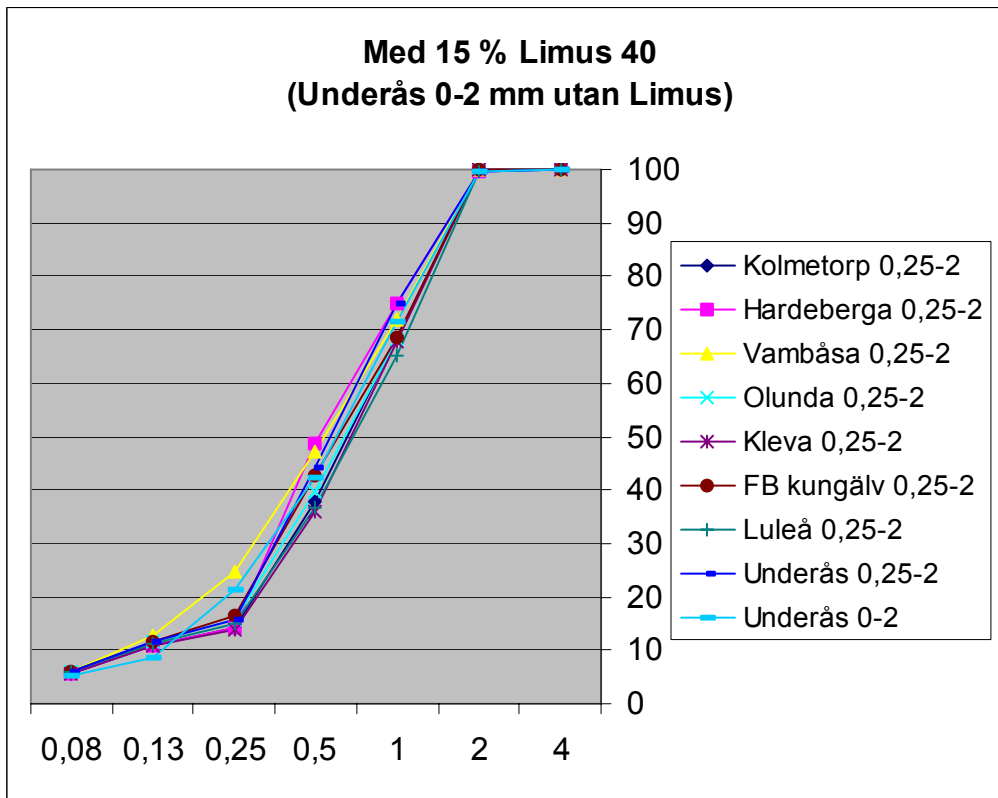
Figur 1: Resultat av siktning på material 0-2 mm enligt SS 13 21 23



Figur 2: Resultat av siktning på material 0.063-2 mm enligt SS 13 21 23



Figur 3: Resultat av siktning på material 0.25-2 mm samt Limus 40 enligt SS 13 21 23

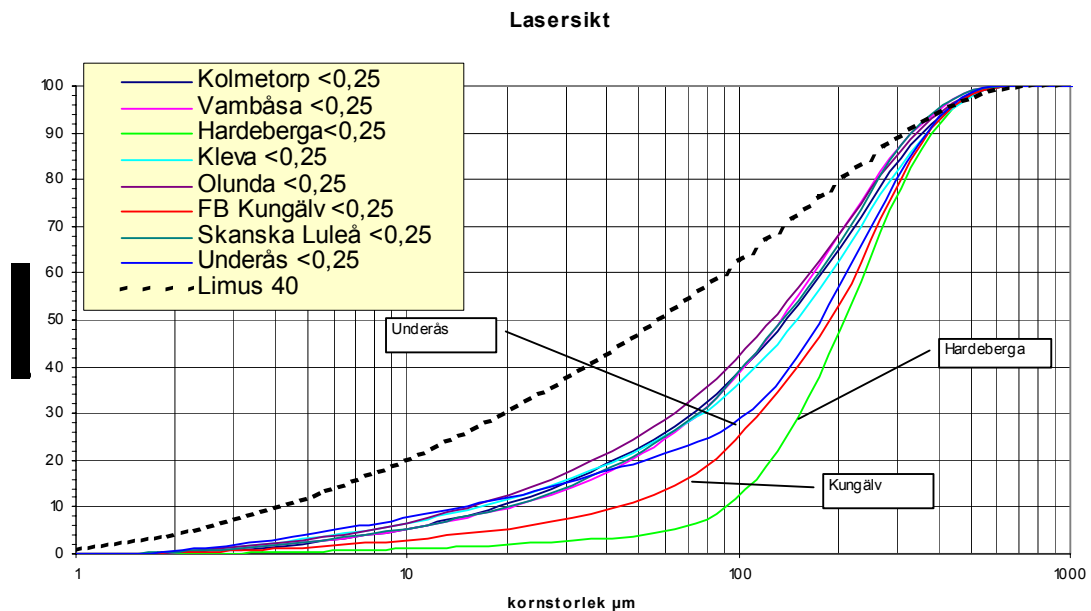


Figur 4: Resultat av beräknad kornfördelning då 15 volym % Limus 40 ingår. Underås 0-2 mm utan Limus 40

Lasersiktsanalys gjordes enligt ER-metod 93/22 (intern metod hos Cementa Research) med instrumentet Malvern Mastersizer 2000. Resultatet av lasersiktning på material <0.25 mm tillsammans med kalkstensfillern Limus 40 framgår av Figur 5. Proven togs ut från 0-2 mm materialen.

Det är Hardeberga, Kungälv och Underås som skiljer sig från övriga materials kornfördelningar.

Det finns en del ” överkorn” dvs större korn än 0.25 mm och det beror på att lasern mäter med en annan princip än den mekaniska sikten. Lasern mäter korn i det ögonblick kornet befinner sig i detektorn i vilken tänkbar vy som helst, från dess minsta diameter upp till dess största diameter. Den mekaniska sikten släpper genom korn med dess minsta diameter.



Figur 5: Lasersikt av material <0.25mm samt kalkstensfillern Limus 40

2.2.2 Reologiundersökningar på bruk

Bruket som användes till mätningarna är sammansatt som framgår av Tabell 12. Då bruk med ballast 0.063–2 mm provades var ballastmängden den samma som för bruk med ballast 0–2 mm, dvs 1080 gram. Då bruk med ballast 0.25–2 mm och Limus 40 provades var ballast- och fillervolymen tillsammans lika som för blandningar med ballast 0–2 mm och 0.063–2 mm med densiteten 2670 kg/m^3 , dvs 50.3 % av blandningens volym (ingen luft medräknad). Det betyder att vissa blandningar provade utan Limus 40, tex Kungälv 0–2 mm, 0.063–2 mm och Olunda 0–2 mm, 0.063–2 mm (densitet 2830 och 2820, ballastvolym 48.9 respektive 48.8 %) haft en lägre ballastvolym än det ” normala” . Denna skillnad i volym bedöms inte ha påverkat provresultaten i någon större utsträckning, utan hade ballastvolymen varit högre så hade de redan dåliga värdena blivit ännu mer ofördelaktiga.

Tabell 12: Bruksammansättning

Blandnings nr.	V277
Cem. Nr,	SliBy, säck 021021
Flyt typ	F92M
Flyt [%]	0.80
Batch Flyt:	Ank:021219
Flyt [gram]	3.30
Cement [gram]	410
Vatten [gram]	264.0
Ballast [gram]	1080
Ballast [gram]	Kolmetorp 0-2
vct	0.65
Pastavolym (cem+ vatten+ flyt) [%]	49.7
Ballastvolym (ballast+ filler) [%]	50.3

Reologisk provning genomfördes med Viskomat NT på cementbruk. Viskomaten mäter konsistensparametrarna g motsvarande flytgränsvärde och h motsvarande plastisk viskositet. Mätningarna gjordes 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats.

Parallellt mättes utbredningen på bruk med en Hägermannkon 5 minuter efter vattentillsats på material 0-2 mm och 0.063-2 mm. På materialen 0.25-2 mm med filler mättes utbredningen vid 5, 10 och 30 minuter. Hägermannkonen har måtten 100 mm, 70 mm och 60 mm för respektive bottendiameter, toppdiameter och höjd. 100 mm:s utbredning är således ett relativt styvt bruk, ingen utbredning sker.

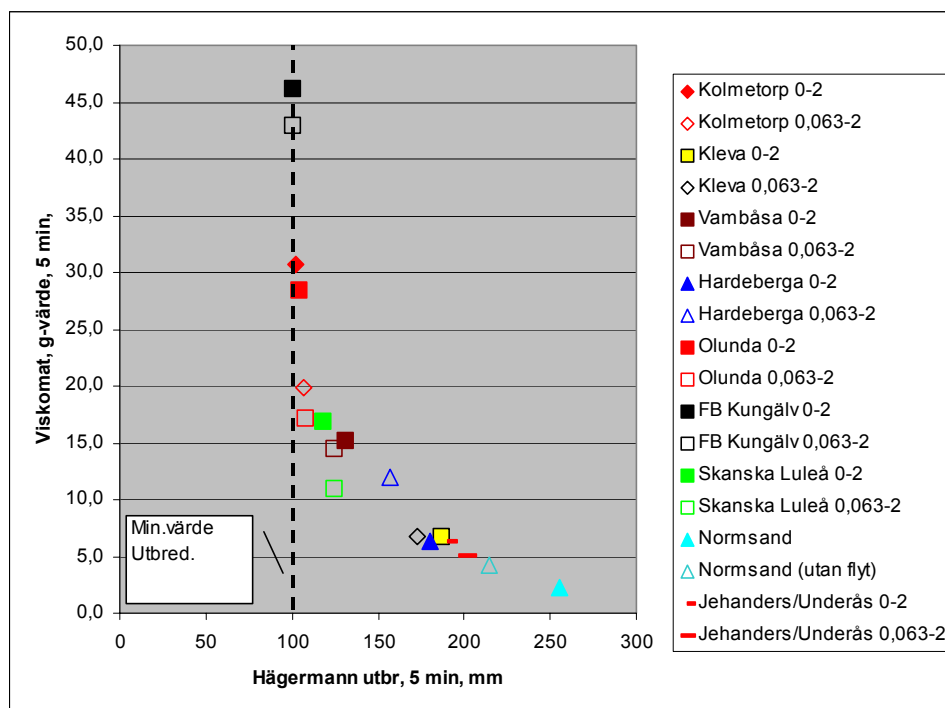
Bruk som inte har en utbredning kan fortfarande kvantifieras med avseende på styvhet med hjälp av Viskomaten. Då styvheten blir för hög (höga g -värden) blir mätningarnas tillförlitlighet sämre. Med den sammansättning på bruk som valts är konsistensområdets spann stort och de styvaste bruken (kross med ogynnsam siktkurva, kornform och/eller ytstruktur) är sannolikt inte användbar i betong utan vidare modifiering eller proportionering.

2.2.3 Viskomat styvhetsvärden och Hägermann utbredning

Figur 6 visar brukens utbredningssmått mot brukens styvhetsvärde (g -värde) 5 minuter efter vattentillsats för 0-2 mm och 0.063-2 mm materialen. Det är en stor variation på konsistens mellan de olika provade materialen.

Krossmaterialen blir i regel lösare då man siktar bort findelen. Vambåsa och Kleva blir däremot inte lösare med borttagen finsvans, styvheten är ungefär densamma som före bortsiktning. Ett material, Hardeberga, blir styvare med

finsvansen bortsiktad. En anledning till det kan vara att de få fina korn som finns i materialet förbättrar rörligheten och påverkar packningsgraden i gynnsam riktning.



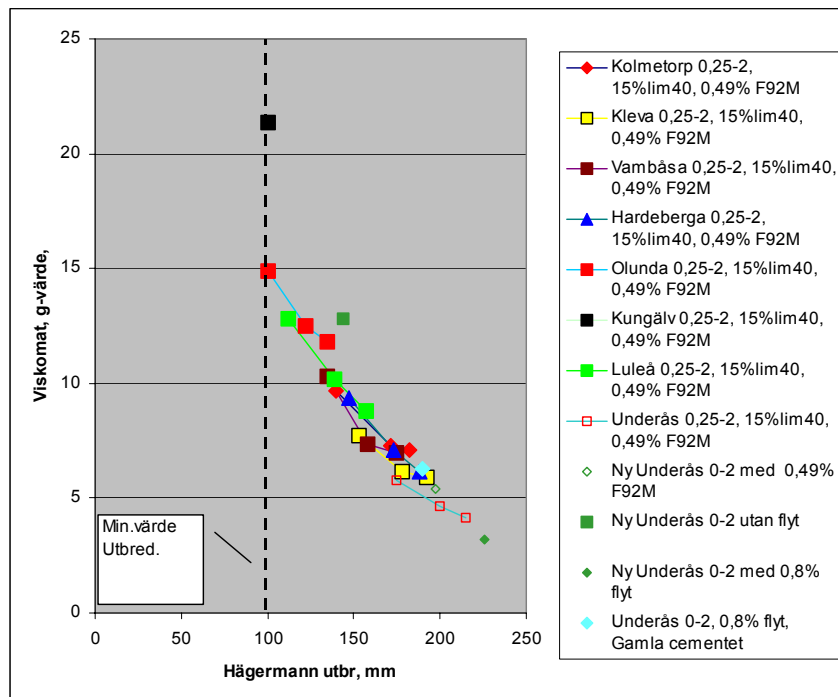
Figur 6: Hägermann utbredning 5 min vs Viskomat g-värde 5 min på prover 0-2 mm och 0.063-2 mm

Figur 7 visar brukens utbredningssmått mot brukens styvhetsvärde (g-värde) 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats för 0.25-2 mm materialen med filler samt

Korrelationen mellan g-värde och Hägermannutbredning är relativt god. Hägermannkonen kan dock inte ge information om h-värdet då h-värdet också påverkar utbredningen så ”stör” det korrelationen med g-värdet.

Tabell 13: Konsistens som utbredning och g-värde med gamla och ny cement samt förra och sista sändning av Underås 0-2

	Underås 0-2, 0,8% flyt, Gamla cement	Ny Underås 0-2 med 0,49% F92M	Ny Underås 0-2 med 0,8% flyt	Ny Underås 0-2 utan flyt
Utbr 5 min	190	197	226	144
g-värde 5 min	6,3	5,4	3,2	12,8



Figur 7: Hägermann utbredning 5, 10 och 30 min vs Viskomat g-värde samma tider på prover 0.25-2 mm m Limus 40 och Underås 0-2 mm. När endast en mätning finns är det 5 minuter-värdet

2.2.4 Viskomat styvhetsvärden och plastisk viskositet

Figur 8 visar styvhetsvärdet g och h-värdet motsvarande plastisk viskositet vid tiderna 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats på materialen 0-2 mm och 0.063-2 mm.

Det framgår av figuren att när g-värdet ökar så ökar också h-värdet. Då g-värdet nått ca 20 så blir g- och h-värdet missvisande pga att man får s.k. ”plugflow” .

Materialen som har låga styvhetsvärden förändrar inte styvheten så mycket över tiden som de som är lite styvare.

Blandningarna med Normsand och kanske något vad gäller natursanden var lätt separerande, vattenseparation.

Kleva 0-2 och 0.063-2 samt Hardeberga 0-2 ser ut att vara de bästa materialen. Styvhetsvärdena för dessa material ligger i nivå med natursanden Underås 0-2 mm. Dock är den plastiska viskositeten något högre för krossmaterialen, se Tabell 14, Tabell 15 och Tabell 16.

Tabell 14: Viskomatvärden

Bl.nr.	V277	V282	V281	V276	V279	V284	V280	V285	V278	V283
Ballast. namn	Kolmet. 0-2	Kolme. 0.063-2	Kleva 0-2	Kleva 0.063-2	Vambå. 0-2	Vambå. 0.063-2	Harde. 0-2	Harde. 0.063-2	Olunda 0-2	Olunda 0.063-2
Hägermann										
5 min. mm	102	107	187	173	131	124	180	157	104	108
g-5 min.	30.6	19.9	6.7	6.7	15.2	14.4	6.4	12.0	28.5	17.2
g-10 min.	34.5	24.4	7.0	7.3	16.0	17.0	7.2	13.1	30.6	20.8
g-30min.	37.7	26.7	8.6	8.3	18.7	21.1	8.7	17.1	32.9	25.1
h-5	0.14	0.20	0.09	0.11	0.17	0.21	0.11	0.17	0.18	0.22
h-10	0.14	0.20	0.10	0.12	0.19	0.23	0.12	0.19	0.19	0.23
h-30	0.15	0.20	0.11	0.14	0.19	0.22	0.13	0.20	0.19	0.20
Vpt * ballast	1.35	1.51	1.41	1.61	1.15	1.26	1.65	2.00	1.22	1.44
dens.	2670	2670	2640	2640	2630	2630	2660	2660	2820	2820

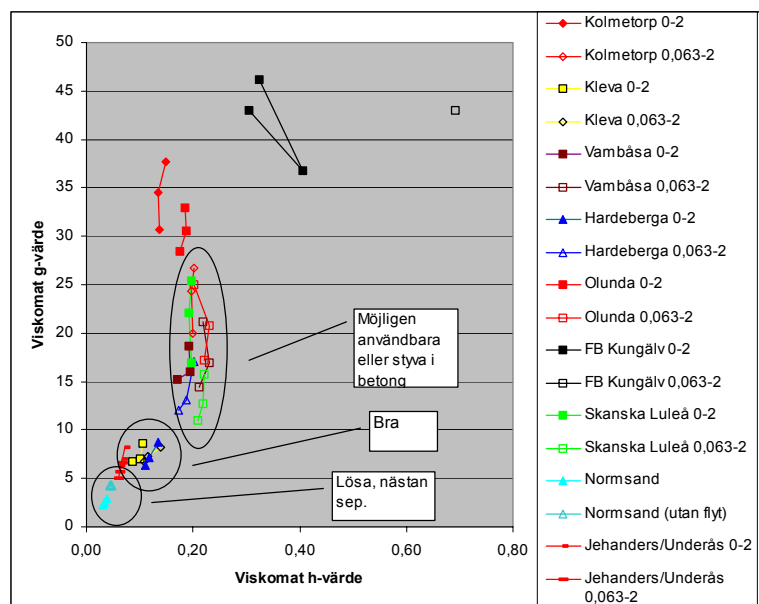
Tabell 15: Viskomatvärden

Bl.nr.	V290	V291	V292	V293	V286	V287	V318	V319	V347	V348
Ballast. namn	FB Kungälv 0-2	FB Kungälv 0.063-2	Skanska Luleå 0-2	Skanska Luleå 0.063-2	Norms. m flyt. 0.649	Norms. (utanflyt)vct 0.644	Underås 0-2.	0.8%flyt Gamla cemente t	Underås Ny 0-2	Underås Ny 0-2
							0.063-2		med 0.8% flyt	utan flyt
Hägermann										
5 min. mm	100	100	118	124	255	215	190	202	226	144
g-5 min.	46.2	43.0	16.9	11.0	2.3	4.2	6.30	5.02	3.20	12.83
g-10 min.	36.8		22.1	12.6	2.5	4.3	7.03	5.62	3.93	13.36
g-30min.	43.0		25.4	15.7	2.9	4.3	8.22	6.55		
h-5	0.32	0.69	0.20	0.21	0.03	0.04	0.06	0.06	0.05	0.08
h-10	0.41		0.19	0.22	0.03	0.05	0.07	0.06	0.06	0.08
h-30	0.30		0.20	0.22	0.04	0.05	0.07	0.07		
Vpt * ballast	1.30	1.52	1.21	1.41	1.74	1.72	1.59	1.67	1.59	1.57
dens.	2830	2830	2710	2710	2650	2650	2670	2670	2670	2670

Tabell 16: Viskomatvärden

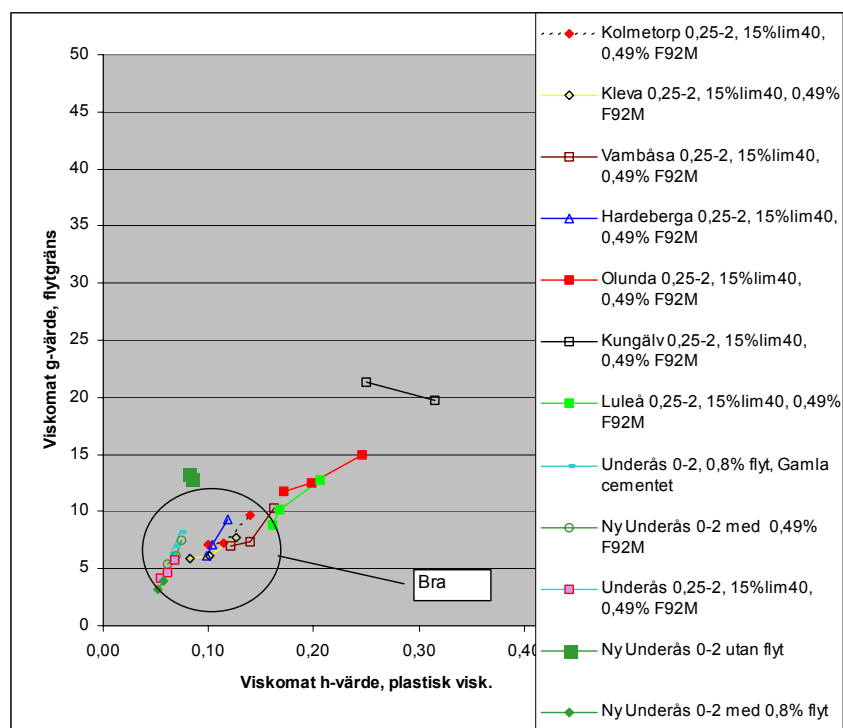
Bl.nr.	V349	V350	V351	V352	V353	V354	V355	V356	V357	V339	V340
	Ny	Harde.	Vamb.	Olunda	Kleva	Kungäl	Underå	Luleå	Kolme.	Kolme.	Kolme.
	Underå	0.25-	0.25-2.	0.25-2.	0.25-2.	v 0.25-	s 0.25-	0.25-2.	0.25-2.	0.25-2.	0.25-2.
	s 0-2	2. 15%	15%	15%	15%	2. 15%	2. 15%	15%	15%	12%	15%
	med	lim40	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.	lim40.
Ballast.	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.49%	0.8%	0.8%
namn	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M	F92M
Hägermann											
5 min. mm	197	188	175	135	192	100	215	157	182	200	216
Hägermann											
10 min.											
mm		173	158	122	178		200	139	171	186	200
Hägermann											
30 min.											
mm		147	135	100	153		175	112	140	155	178
g-5 min.	5.41	6.14	6.95	11.81	5.93	21.33	4.13	8.80	7.11	4.83	3.63
g-10 min.	6.11	7.10	7.37	12.52	6.17	19.69	4.65	10.17	7.28	5.12	4.03
g-30min.	7.51	9.37	10.33	14.90	7.74		5.79	12.81	9.66	6.24	5.43
h-5	0.06	0.10	0.12	0.17	0.08	0.25	0.05	0.16	0.10	0.11	0.10
h-10	0.07	0.10	0.14	0.20	0.10	0.32	0.06	0.17	0.11	0.12	0.10
h-30	0.07	0.12	0.16	0.25	0.13		0.07	0.21	0.14	0.15	0.12
Vpt *	1.58	1.15	1.12	1.13	1.15	1.14	1.13	1.14	1.15	1.25	1.15
ballast											
dens.	2670	2660	2630	2820	2640	2830	2670	2710	2670	2670	2670

*)Vpt = vattenpulvertalet, ett volymförhållande. Vatten i blandning och tillsatsmedel / (volymen av alla partiklar i blandningen som är < 0.125 mm).



Figur 8: Viskomat g-värde vs h-värde vid 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats

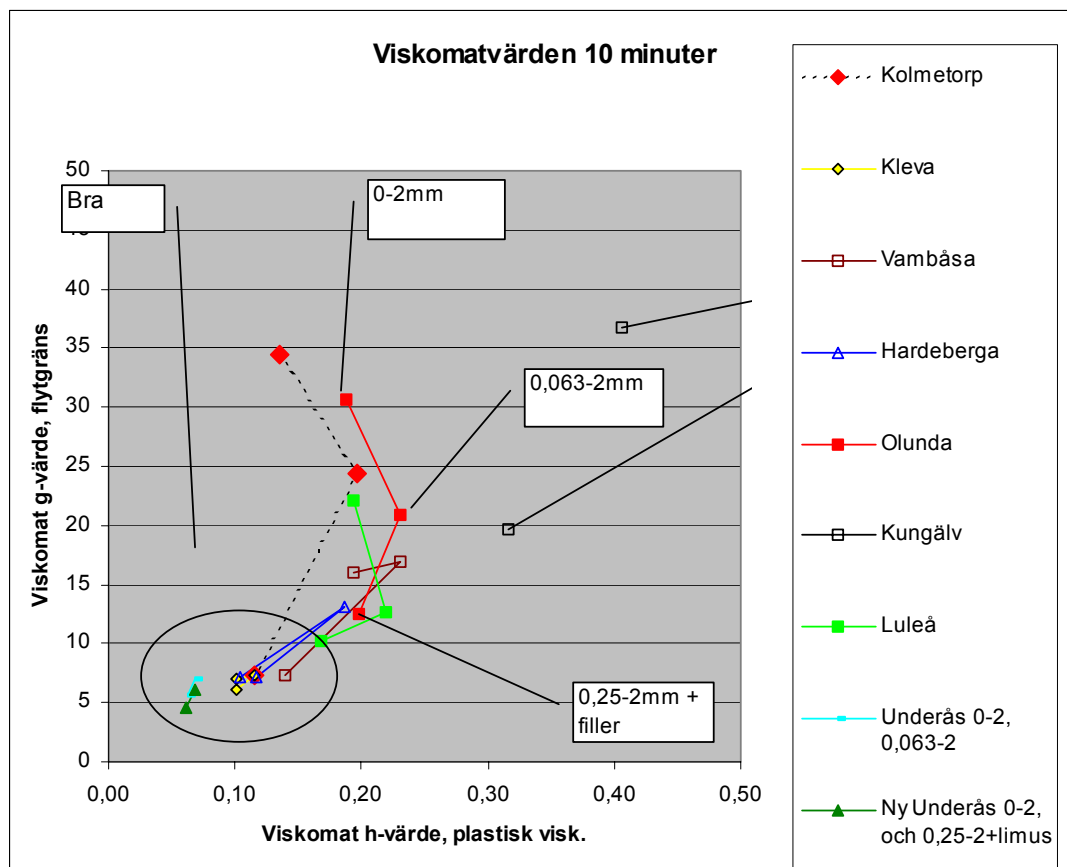
Mätningarna på bruk med 0.25-2 mm materialen tillsammans med filler framgår av Figur 9. Material som Olunda och Kungälv har fortfarande relativt höga g- och h-värden.



Figur 9: Viskomat g-värde vs h-värde vid 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats (5 och 10 minuter då två punkter finns)

Figur 10, visar g- och h-värden vid 10 minuter i följande ordning och fallande (oftast) g-värde; material 0-2 mm, material 0.063-2mm och material 0.25-2 mm med 15 volym % Limus 40. Man kan således se effekten av ballastförändringarna. I fallet Underås är det två gånger två värden där de första visar 0-2 mm tillsammans med 0.063-2 mm (lägst värde) och de andra två punkterna visar ny Underås med nytt cement och ny dos F92M 0.49% tillsammans med 0.25-2 mm och Limus 40 och 0.49% F92M. Den sistnämnda har lägst värde.

Arbetbarheten på Kolmetorp materialet blir bättre genom att sikta ifrån 0.25 mm och tillsätta filler. Olunda och Vambåsa förbättrar också betongens arbetbarhet genom ett sådant förfarande. Dessa egenskaper fås ej vid användandet av materialet från Kungälv. Arbetbarheten förbättras marginellt vid samma förfarande för Luleå materialet. Man vinner inget på att sikta bort eller tillsätta filler på material från Kleva, Hardeberga och Underås.



Figur 10: Viskomat g-värde mot h-värde 10 minuter efter vattentillsats. g- och h-värden i följande ordning och fallande (oftast) g-värde; material 0-2 mm, material 0.063-2mm och material 0.25-2 mm med 15 volym % Limus 40

2.3 Undersökningar för lämpligt recept

2.3.1 Material som användes i prover

Krossad sand samlades in från bergtäkter från Skanska och NCC Ballast. Bergtäkterna valdes ut så att många olika bergarter täcktes in. Prestanda av en naturballast från Underås jämfördes med 7 st krossad sand typer; Olunda, Vambåsa, Kungälv, Luleå, Kolmetorp, Kleva och Hardeberga. Två ytterligare ballastmaterial, Norrköping (8-16) och Olunda (2-4), användes för framtagning av betongrecept. Materialkaraktistiker för undersökta ballastmaterial är angivna i Tabell 17 nedan. Byggcement och flyttmedel Cementsa 92M användes i denna undersökning.

Tabell 17: Materialkaraktistiker för undersökta ballast

Prov	Fraktion	Ursprung	Kornf.	Slamhalt [%]	Densitet [kg/m ³]	V. abs. [%]
1	0-4	Underås	N	13	2670	0.5
2	0-2	Olunda	K	10	2820	0.7
3	0-2	Vambåsa	K	12	2630	0.4
4	0-2	Kungälv	K	5	2830	0.7
5	0-2	Luleå	K	11	2710	0.3
6	0-4	Kolmetorp	K	1	2670	0.4
7	0-4	Kleva	K	2	2640	0.3
8	0-4	Hardeberga	K	3	2660	0.3
9	8-16	Norrköping	K			0.3
10	2-4	Olunda	K			0.8

Siktanalyser för undersökta ballast är angivna i Tabell 18 och Tabell 19.

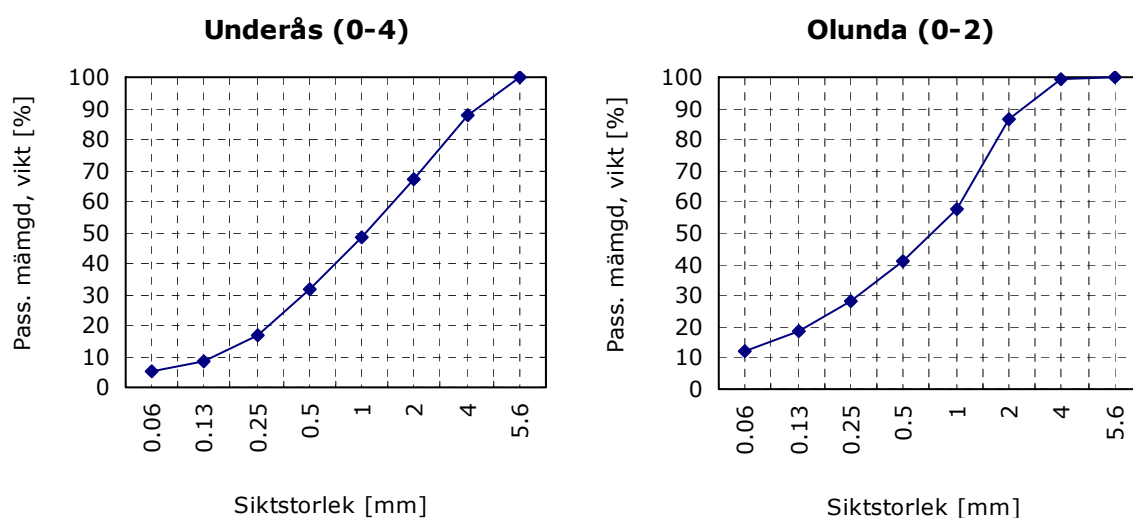
Tabell 18: Siktanalyser för undersökta ballast

	Underås	Olunda	Vambåsa	Kungälv	Luleå
Sikt	Passerande mängd, vikt [%]				
22.4	100	100	100	100	100
16	100	100	100	100	100
11.2	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100
5.6	100	100	100	100	100
4	88	99.4	100	99.8	99.8
2	67.1	86.5	90.7	83.6	86.2
1	48.5	57.8	68.5	61.7	57.9
0.5	31.9	40.9	52.8	45.2	41.2
0.25	17	28.4	38.1	23	28.7
0.125	8.5	18.8	23.8	8.5	18.3
0.063	5.3	12.1	13.6	2.4	11.1

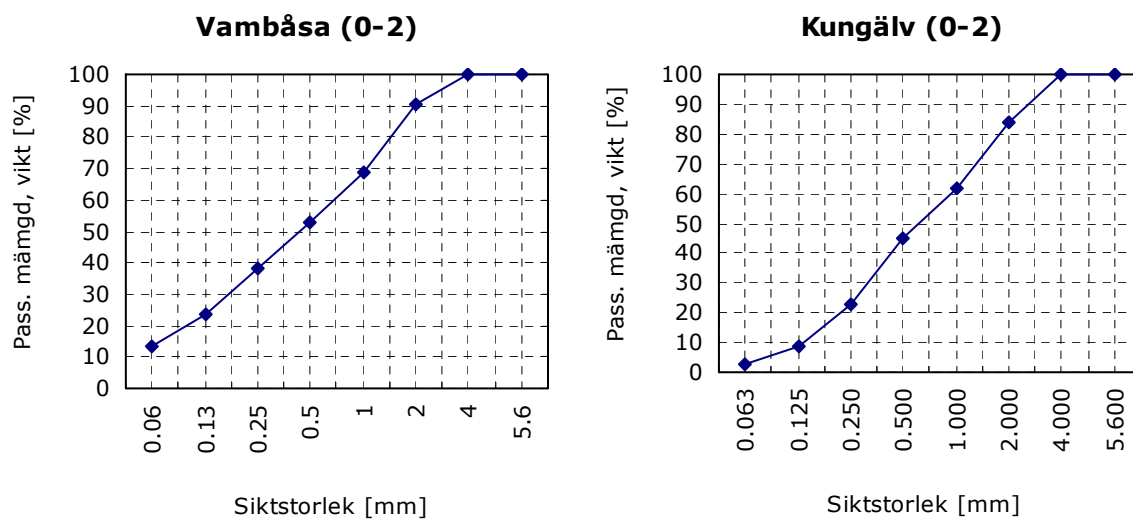
Tabell 19: Siktanalyser för undersökta ballast

	Kolmetorp	Kleva	Hardeberga	Norrköping	Olunda
Sikt	Passerande mängd, vikt [%]				
22.4	100	100	100	100.0	100.0
16	100	100	100	98.0	100.0
11.2	100	100	100	36.8	100.0
8	100	100	100	8.4	100.0
5.6	100	100	100	1.5	100.0
4	97.4	98	99.8	0.7	90.3
2	70.8	71.9	83.6	0.6	9.8
1	50.2	49.5	61.7	0.5	5.0
0.5	35.2	32.6	45.2	0.5	3.8
0.25	23	20	23	0.5	3.1
0.125	14.4	12.2	8.5	0.4	2.4
0.063	9.1	7.6	2.4	0.3	1.9

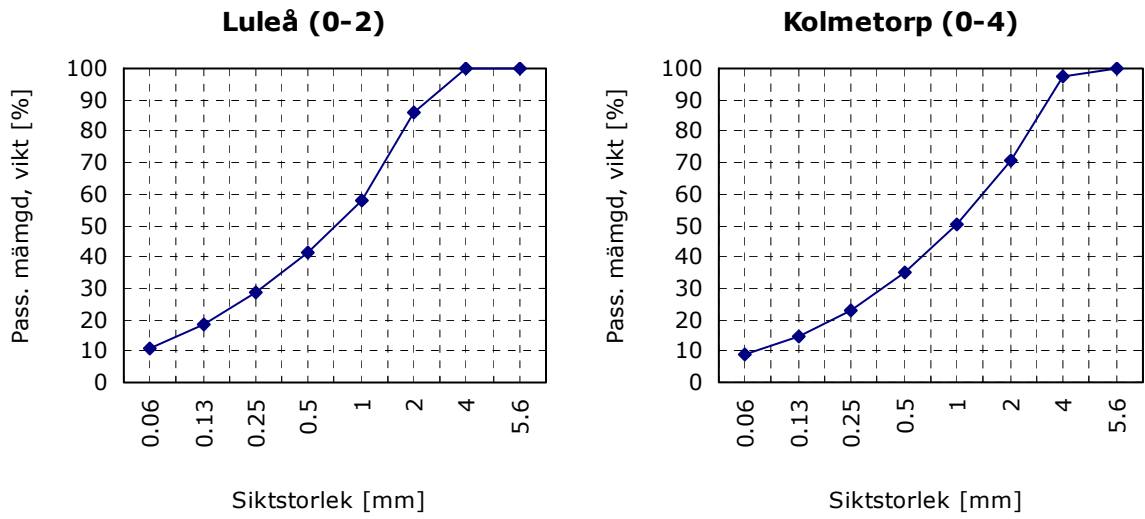
Siktkurvor för ballast vilka användes i prover anges i Figur 11, Figur 12, Figur 13, Figur 14 och Figur 15.



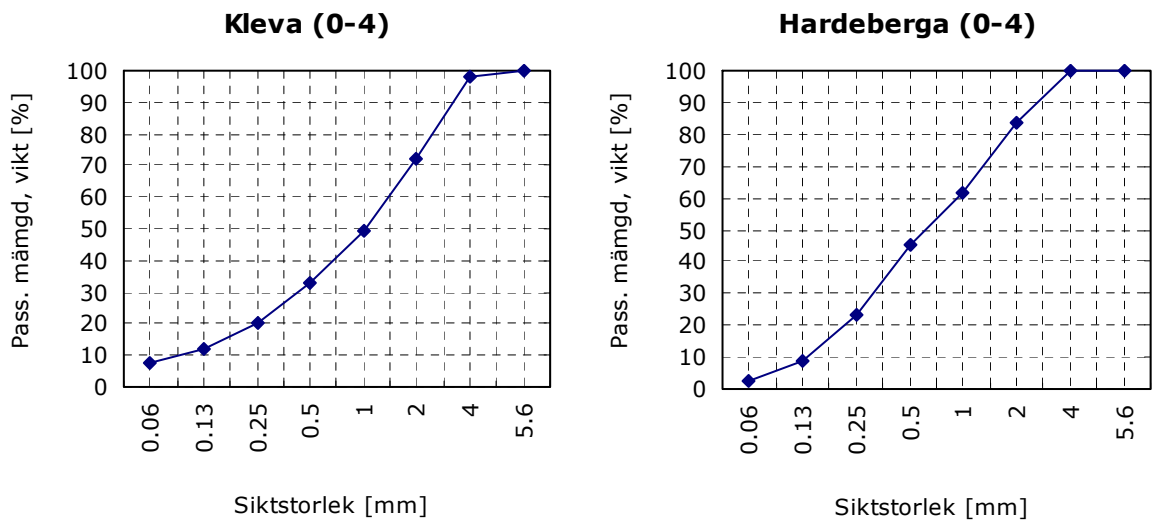
Figur 11: Siktkurvor för använda ballaster Underås och Olunda



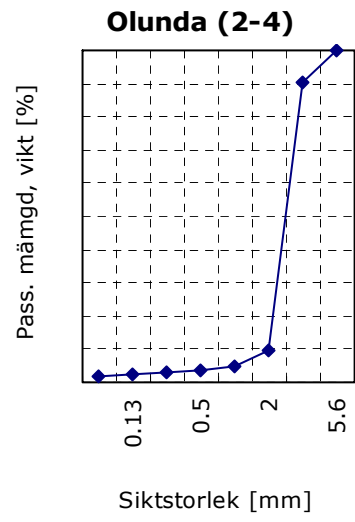
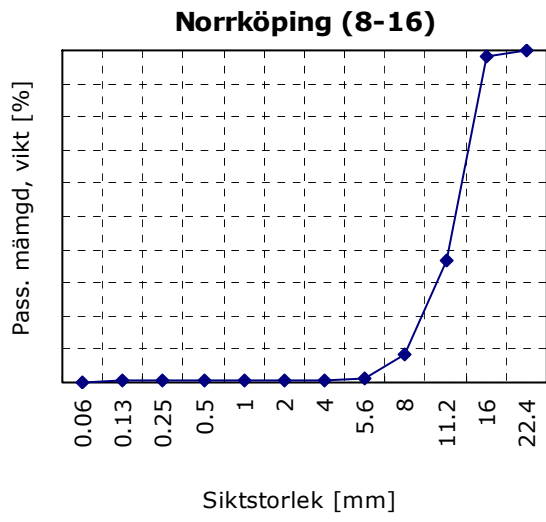
Figur 12: Siktkurvor för ballaster Vambåsa och Kungälv



Figur 13: Siktcurvor för ballaster Luleå och Kolmetorp



Figur 14: Siktcurvor för ballaster Kleva och Hardeberga



Figur 15: Siktcurvor för ballaster Norrköping och Olunda

2.3.2 Strategin inför framtagande av betongrecept med helkrossad ballast

Användning av krossad sand i samtliga fraktioner för betongtillverkning kan medföra problem. Problemen kan bero dels på kornstrukturen och specifik ytan av den krossade sanden. Tre alternativa lösningar kan utnyttjas för att lösa dessa problem. Det första alternativet är att förädla stenmjölet med hjälp av siktning eller tvättning så att för mycket finmaterial kan minskas och ersättas med fillermaterial som kalkfiller. Detta alternativ medför extra icke värdeskapande moment i processen och kan resultera i dyrare betong. Det andra alternativet är att använda en något högre mängd av cement och flytmedel. Ytterligare ett sätt att uppnå kraven med avseende på arbetbarhet är att tillsätta en fraktion av 2-4 mm. Under de här proverna utnyttjades det andra och tredje alternativet i första hand.

2.3.3 Utförandet av prover

Kravet med proverna var att framställa recept för en stabil betong med bra arbetbarhet. Arbetbarheten mättes med hjälp av sättmått prover utfördes vid $t = 0, 0.5$ och 1 h enligt SS-EN 12350-2. Omformningstal tester enligt SS 137130, utfördes strax efter blandning av färskbetong är klar, dvs. vid $t = 0$ h. Kravet med sättmåttproverna var att uppnå ett sättmått $h \geq 200$ mm vid $t = 0$ h och $h \geq 140$ mm vid $t = 1$ h. Målet med omformningstal tester var att uppnå ett omformningstal $n \leq 10$ vid $t = 0$ h. När de här målen uppnåddes gjöts tre tryckprov kuber (150 mm) enligt SS 137207. Vattencementtalet $w/c = 0.66$ var konstant för alla prover.

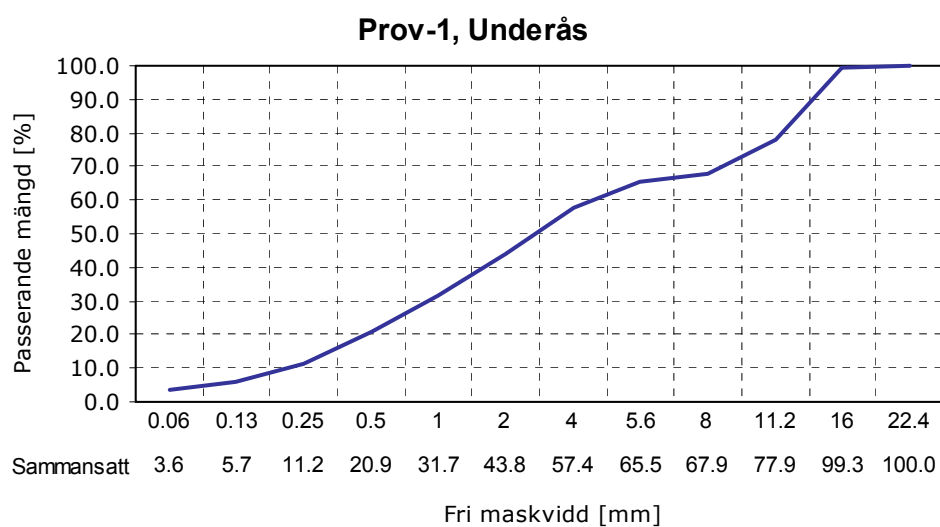
2.3.4 Provresultat

Ett antal olika recept testades för att uppnå ovannämnda krav för varje krossad sand. Proverna döptes efter bergtrakt av sanden. T. ex. om sanden kommer från Olunda, kallades provet som Olunda. Det slutliga receptet för respektive stenmjöl som uppnådde kraven, sammansatt ballastkurvan och bilder för sättmåttprover redovisas efter varje provblandning se sidan 39-46.

2.3.4.1 Prov-1: Underås

Tabell 20: Recept av Prov-1, Underås

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	310
Vatten	204.9
Norrköping 8-16 (35 %)	627.8
Underås 0-4 (65 %)	1165.9
Flytmedel (0.4 % av cementvikten)	1.24



Figur 16: Sammansatt ballastkurvan för Prov-1, Underås



Sättmått=200 mm, t=0 h



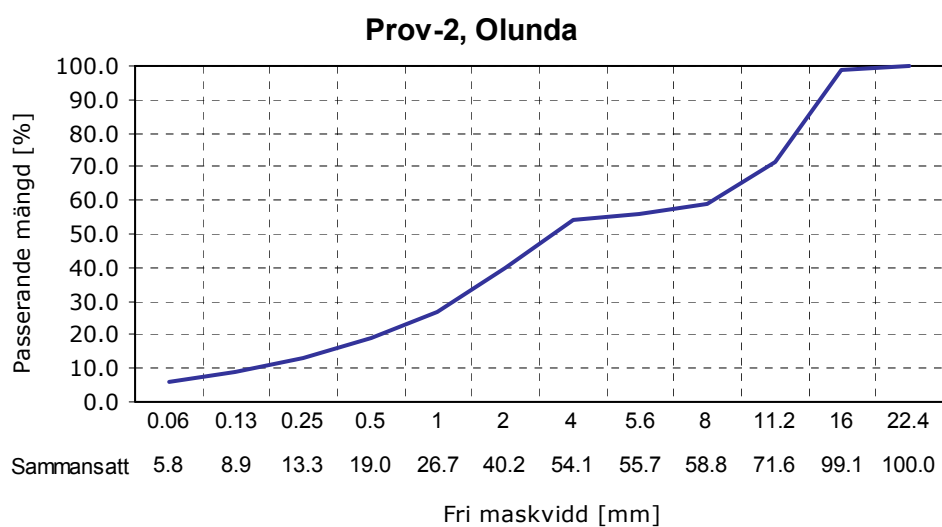
Sättmått=160 mm, t=1 h

Figur 17: Sättmåttprov för Prov-1, Underås

2.3.4.2 Prov-2: Olunda

Tabell 21: Recept av Prov-2, Olunda

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	313
Vatten	206.9
Norrköping 8-16 (45 %)	801.1
Olunda 0-2 (45 %)	801.1
Olunda 2-4 (10 %)	178
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.76



Figur 18: Sammansatt ballastkurvan för Prov-2, Olunda

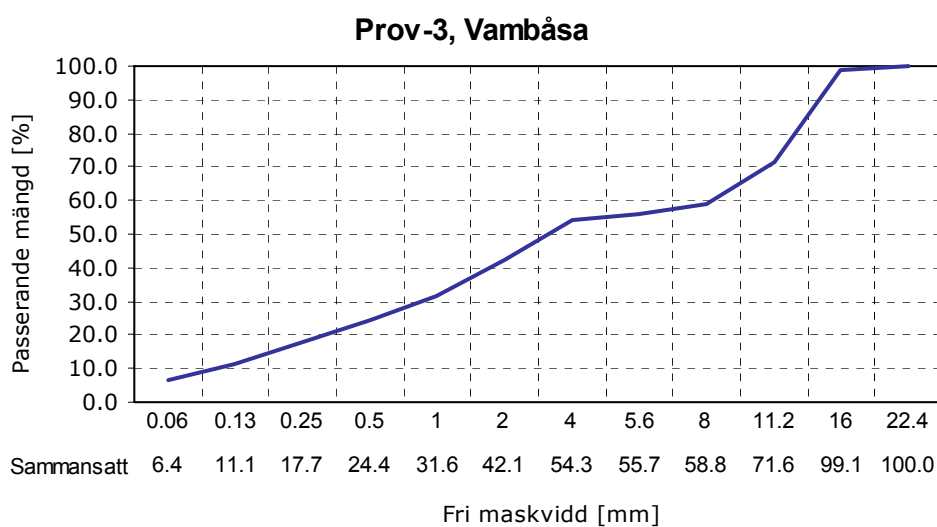


Figur 19: Sättmåttprov för Prov-2, Olunda

2.3.4.3 Prov-3: Vambåsa

Tabell 22: Recept av Prov-3, Vambåsa

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	313
Vatten	206.9
Norrköping 8-16 (45 %)	801.1
Olunda 0-2 (45 %)	801.1
Olunda 2-4 (10 %)	178
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.76



Figur 20: Sammansatt ballastkurvan för Prov-3, vambåsa

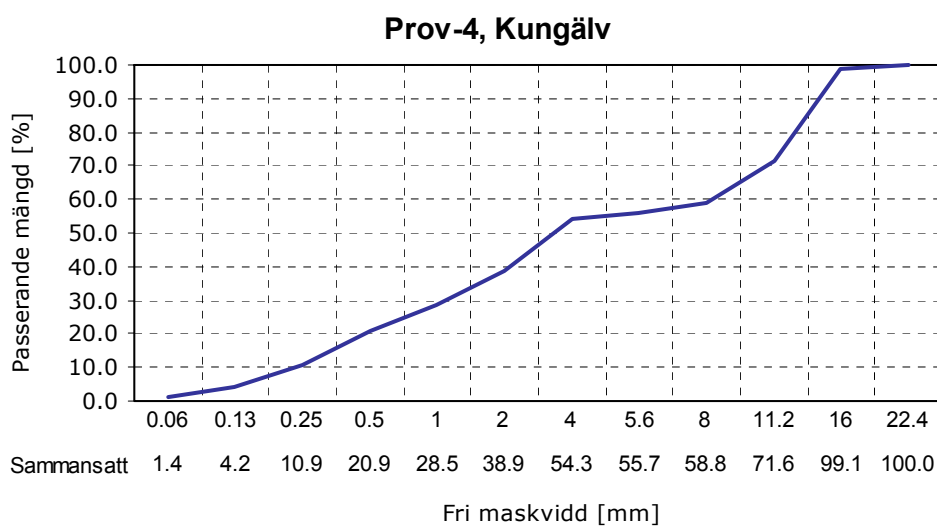


Figur 21: Sättmåttprov för Prov-3, Vambåsa

2.3.4.4 Prov-4: Kungälv

Tabell 23: Recept av Prov-4, Kungälv

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	313
Vatten	206.9
Norrköping 8-16 (45 %)	801.1
Kungälv 0-2 (45 %)	801.1
Olunda 2-4 (10 %)	178
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.76



Figur 22: Sammansatt ballastkurvan för Prov-4, Kungälv



Sättmått=200 mm, t=0 h



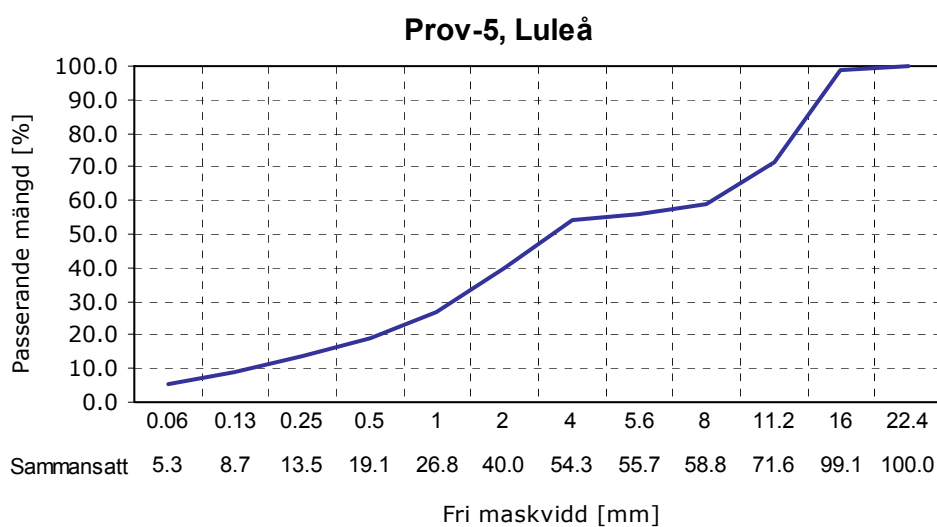
Sättmått=155 mm, t=1 h

Figur 23: Sättmåttprov för Prov-4, Kungälv

2.3.4.5 Prov-5: Luleå

Tabell 24: Recept av Prov-5, Luleå

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	313
Vatten	206.9
Norrköping 8-16 (45 %)	801.1
Luleå 0-2 (45 %)	801.1
Olunda 2-4 (10 %)	178
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.76



Figur 24: Sammansatt ballastkurvan för Prov-5, Luleå

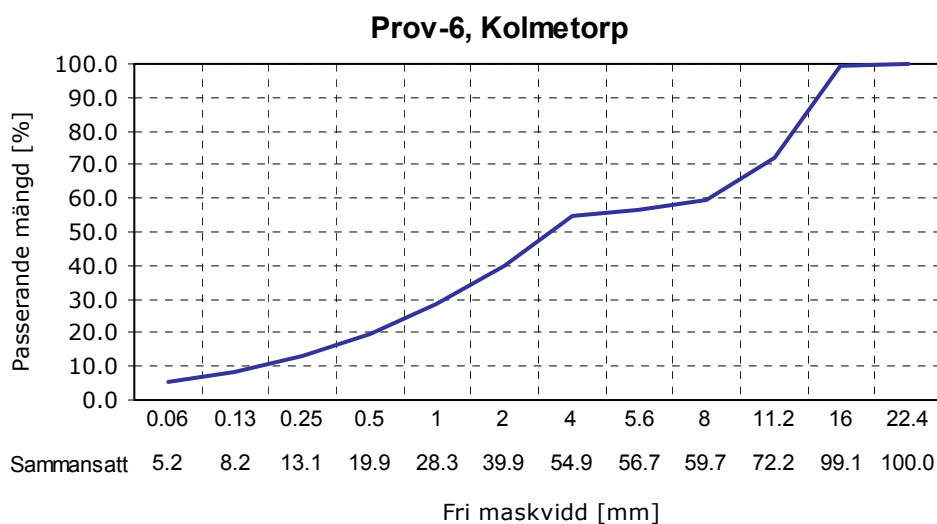


Figur 25: Sättningsprov för Prov-5, Luleå

2.3.4.6 Prov-6: Kolmetorp

Tabell 25: Recept av Prov-6, Kolmetorp

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	325
Vatten	214.8
Norrköping 8-16 (44 %)	769.5
Kålmetorp 0-4 (56 %)	979.4
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.9



Figur 26: Sammansatt ballastkurvan för Prov-6, Kolmetorp



Sättmått=215 mm, t=0 h

Sättmått=200 mm, t=0.5 h

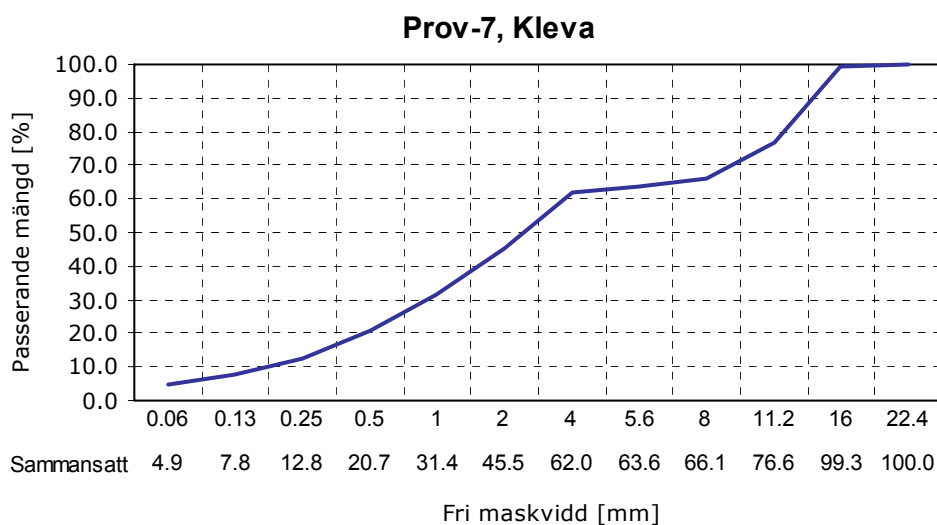
Sättmått=190 mm, t=1 h

Figur 27: Sättmåttprov för Prov-6, Kolmetorp

2.3.4.7 Prov-7: Kleva

Tabell 26: Recept av Prov-7, Kleva

Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	305
Vatten	201.6
Norrköping 8-16 (37 %)	667.1
Kleva 0-4 (63 %)	1135.8
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.66



Figur 28: Sammansatt ballastkurvan för Prov-7, Kleva



Sättnått=200 mm, t=0 h

Sättnått=170 mm, t=0.5 h

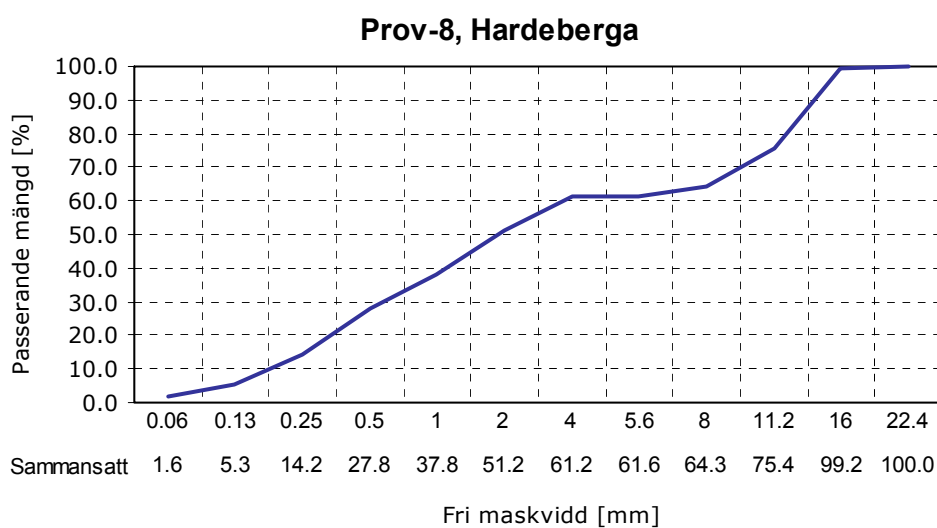
Sättnått=150 mm, t=1 h

Figur 29: Sättnåttprov för Prov-7, Kleva

2.3.4.8 Prov-8: Hardeberga

Tabell 27: Recept av Prov-2, Olunda

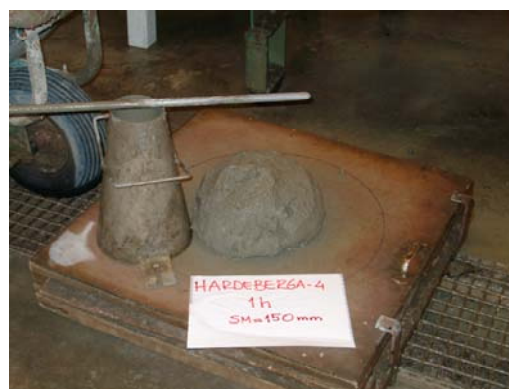
Ingredienser	[kg/m ³]
Cement	315
Vatten	208.2
Norrköping 8-16 (39 %)	692.7
Hardeberga 0-4 (61 %)	1083.5
Flytmedel (1.2 % av cementvikten)	3.78



Figur 30: Sammansatt ballastkurvan för Prov-8, Hardeberga



Sättmått=200 mm, t=0 h



Sättmått=150 mm, t=1 h

Figur 31: Sättmåttprov för Prov-8, Hardeberga

I Tabell 28 och Tabell 29 beskrivs andelarna pastavolym, volym ballast, mängd passerande 0.25 mm, finmaterial ballast etc. Dessa parametrar kan förtydligas enligt nedanstående beskrivningar.

Pastavolym: Volym av cement och totalt vatten.

Volym ballast: Total volym av all ballast som ingår i blandningen.

Mängd passerande 0.25 mm: Andel av ballast som passerar sikten 0.25 mm.

Finmaterial ballast: Vikten av ballast som passerar sikten 0.25 mm.

Finmaterial Cement+Ballast<0,25mm: Summan av cement och finmaterial ballast.

Vatten/(Cem.+ Ballast <0,25mm): Förhållandet mellan vatten och total finmaterial cement+ ballast<0,25mm.

Absorberat vatten: Mängden av absorberat vatten i ballast.

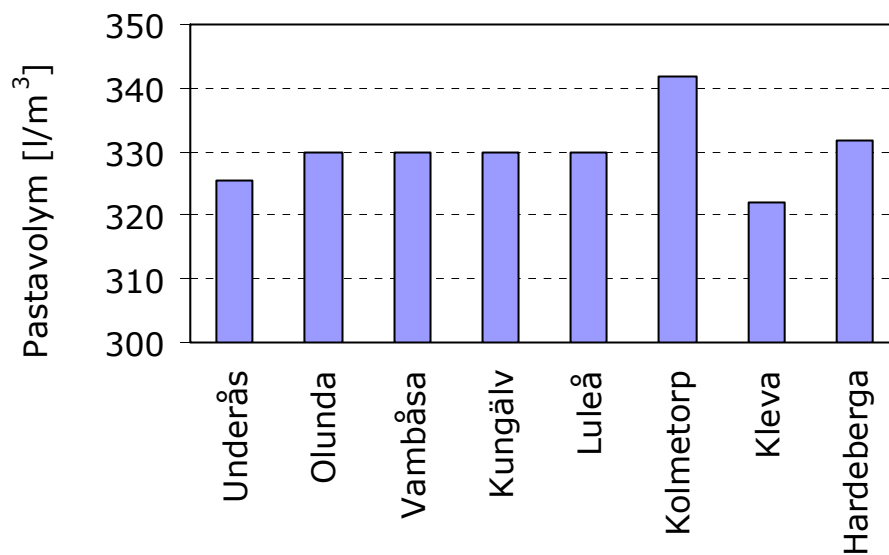
Effektiv vattenhalt: Skillnaden mellan total vatten mängden och absorberat vatten i ballast.

Tabell 28: Betongblandnings egenskaper

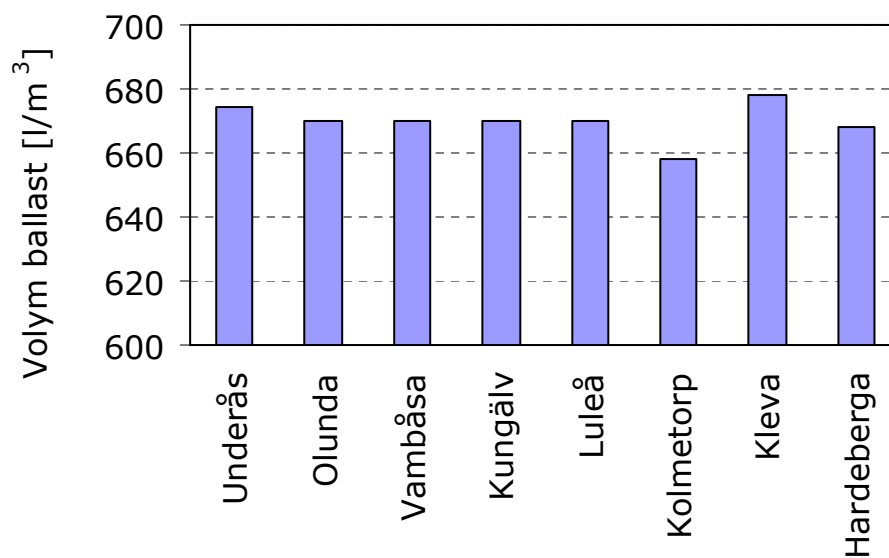
	Underås	Olunda	Vambåsa	Kungälv
Pastavolym [l/m^3]	325.57	329.86	329.86	329.86
Volym ballast [l/m^3]	674.43	670.14	670.14	670.14
Mängd passerande 0.25 mm [%]	11.23	13.32	17.68	10.89
Finmaterial, ballast [kg/m^3]	201.34	237.04	314.74	193.78
Finmaterial Cem.+ Ball<0,25mm [kg/m^3]	511.34	550.04	627.74	506.78
Vatten/(Cem.+ Ballast <0,25mm)	0.40	0.38	0.33	0.41
Absorberat vatten [kg/m^3]	7.71	9.44	7.03	9.44
Effektiv vattenhalt [kg/m^3]	198.00	199.90	202.30	199.90

Tabell 29: Betongblandnings egenskaper

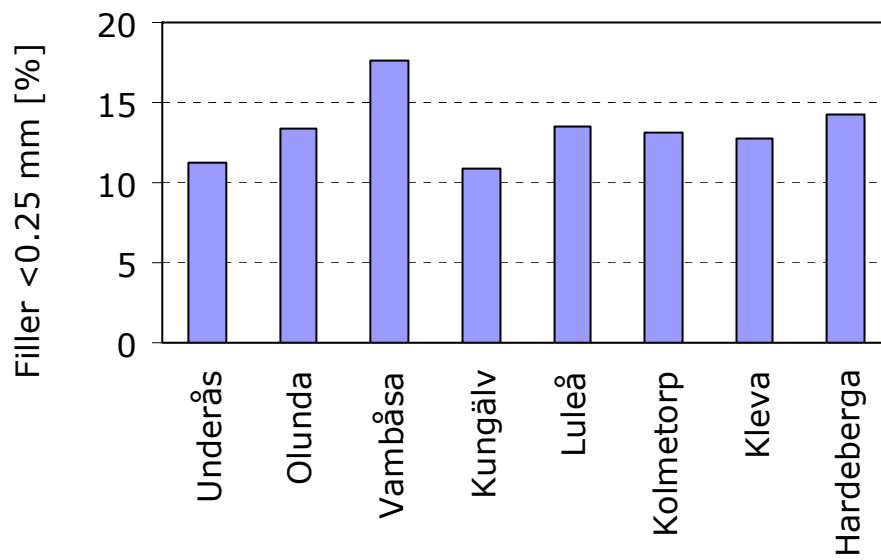
	Luleå	Kolmet.	Kleva	Hardeb.
Pastavolym	329.86	341.74	321.94	331.84
Volym ballast	670.14	658.26	678.06	668.16
Mängd passerande 0.25 mm [%]	13.450	13.100	12.785	14.225
Finmaterial. ballast [kg/m^3]	239.44	229.10	230.50	252.66
Finmaterial Cem.+ Ball. [kg/m^3]	552.44	554.10	535.50	567.66
Vatten/(Cem.+ Ballast <0,25mm)	0.38	0.39	0.38	0.37
Absorberat vatten [kg/m^3]	6.23	6.23	5.41	8.88
Effektiv vattenhalt [kg/m^3]	203.10	211.13	198.58	201.79



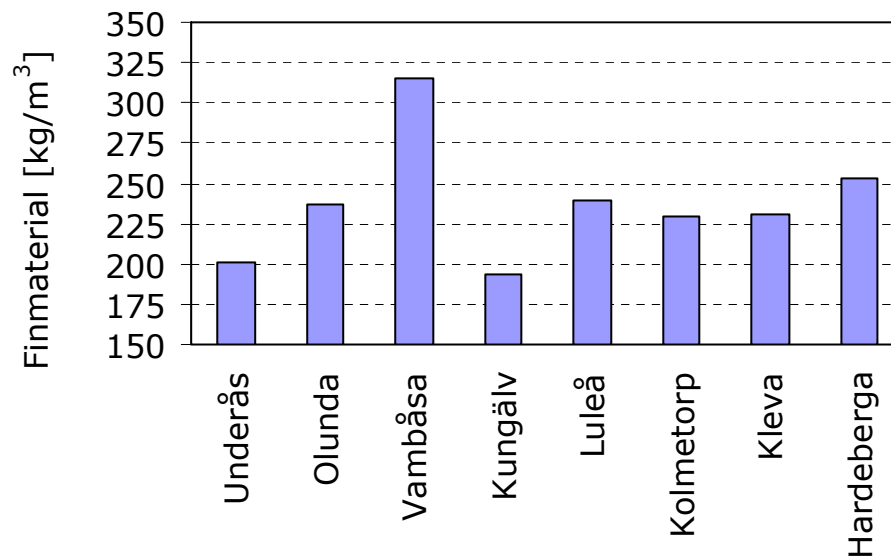
Figur 32: Variation av pastavolym



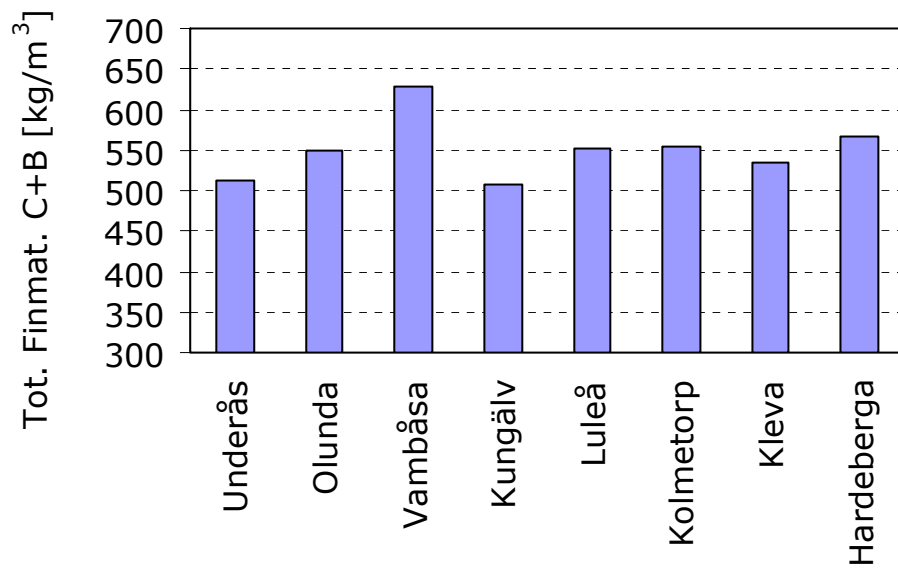
Figur 33: Variation av volym ballast



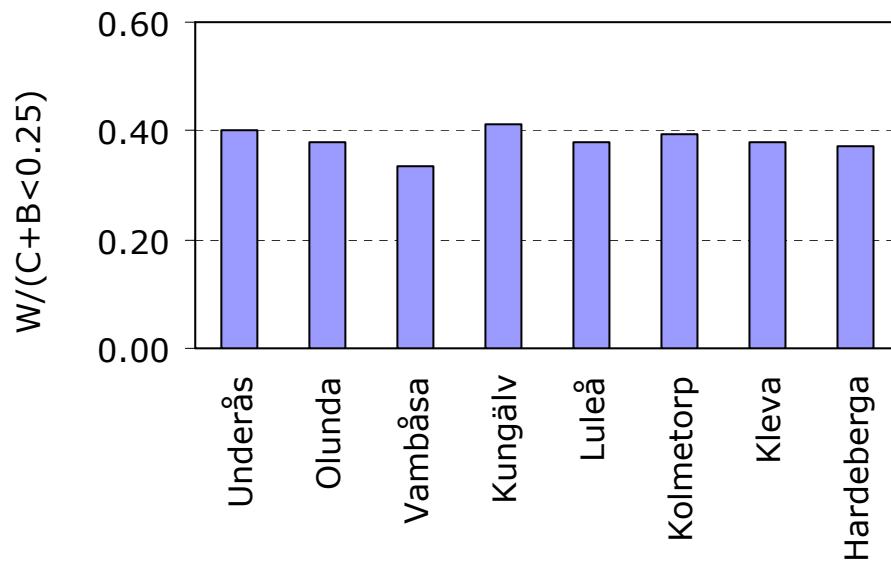
Figur 34: Variation av filler<math><0.25\text{ mm}</math>



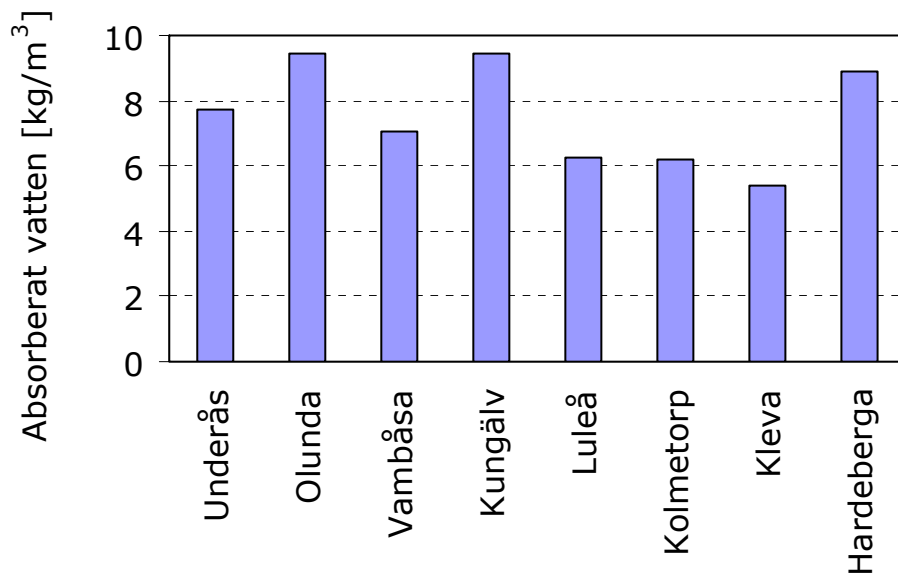
Figur 35: Variation av finmaterial



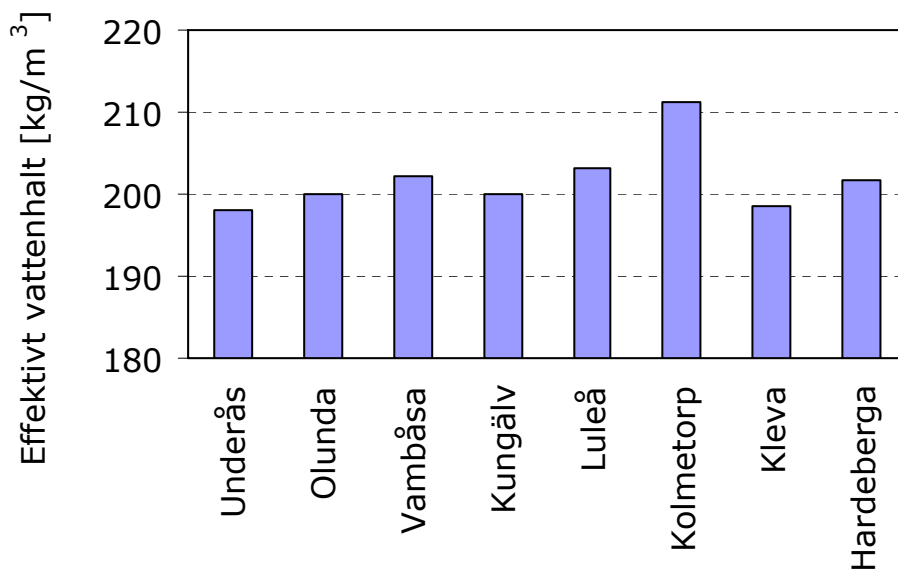
Figur 36: Variation av total finmaterial (Cement+ Ballast)



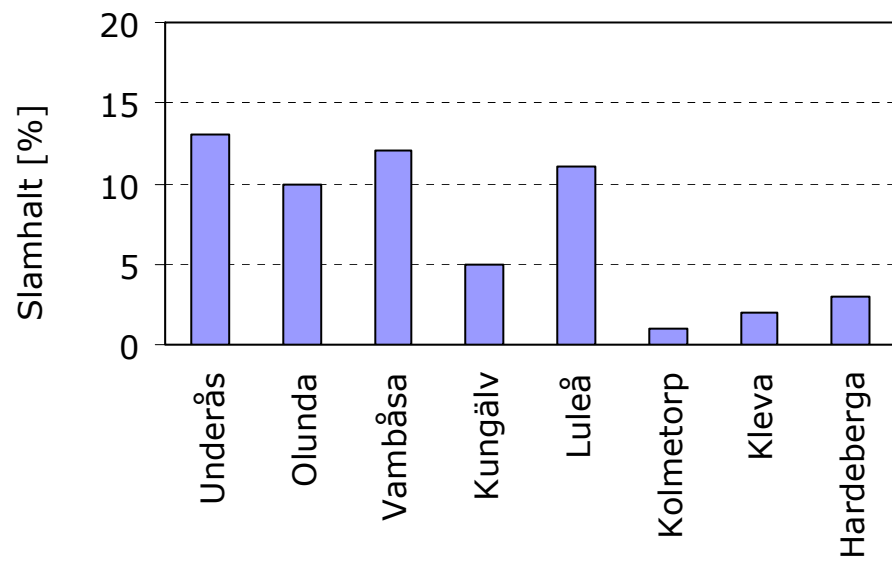
Figur 37: Variation av vatten/(Cement+ Ballast<0.25 mm)



Figur 38: Variation av absorberat vatten



Figur 39: Variation av effektivt vattenhalt

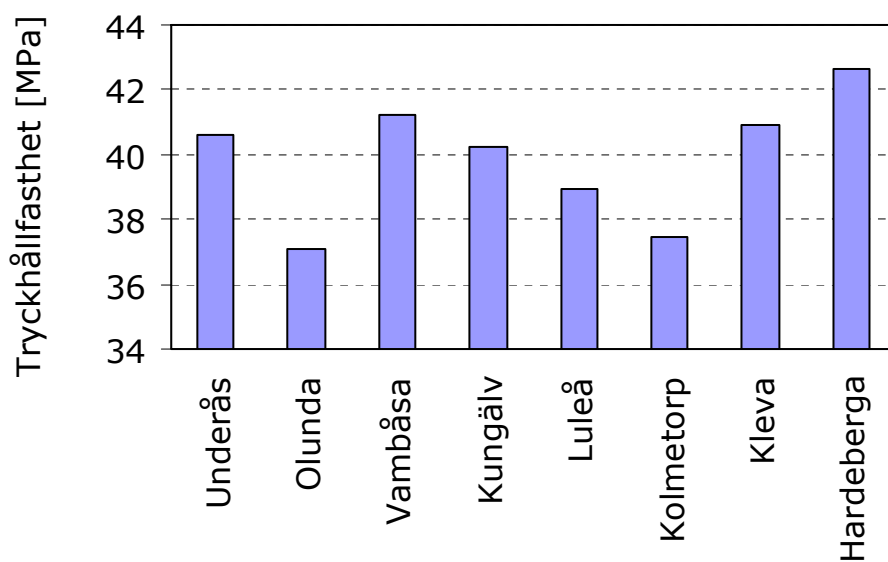


Figur 40: Variation av slamhalt

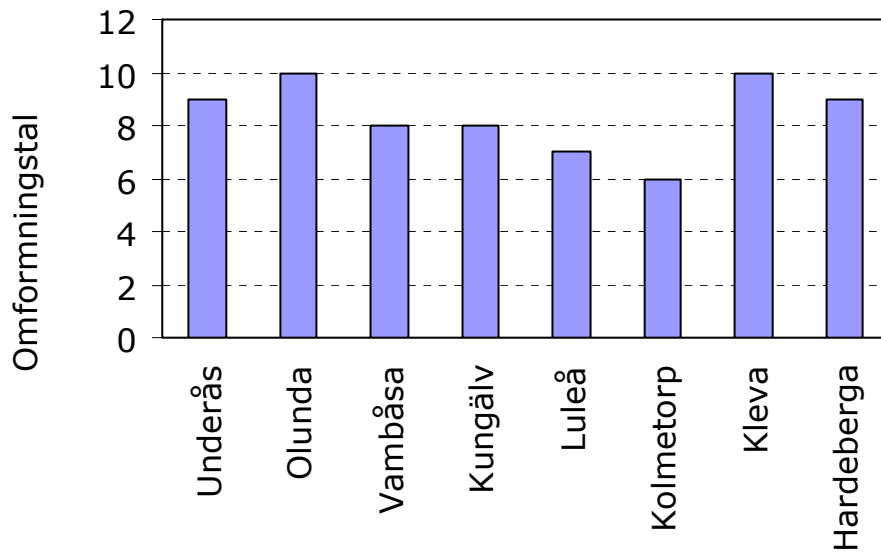
2.3.5 Sammanställning av resultaten från undersökningar för lämpligt recept

Tabell 30: Sammanställning av tryckhållfashets-, sättmått och omformningstal för provblandningarna

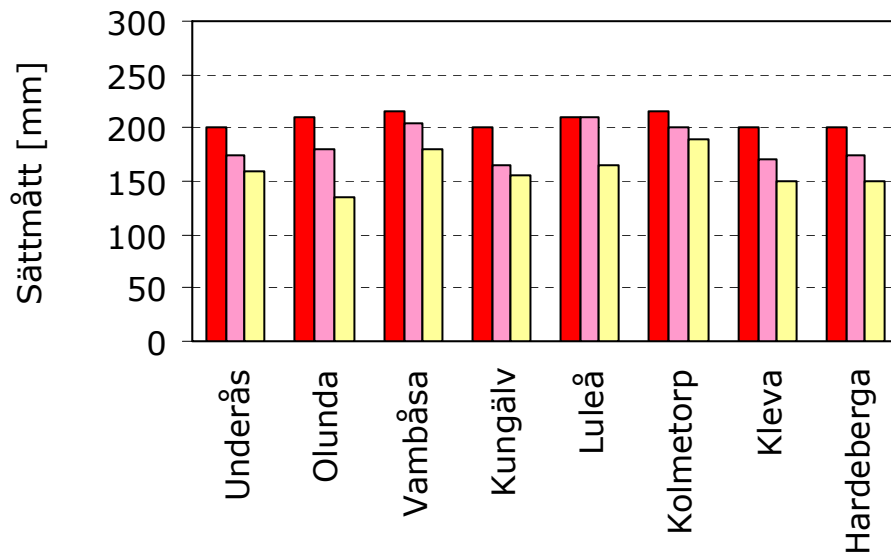
		f_c [MPa]	Sättmått [mm]			Omf. tal
			0 h	0.5 h	1 h	
1	Underås (0-4), N	40.6 (0.8)	200	175	160	9
2	Olunda (0-2), K	37.1 (1.3)	210	180	135	10
3	Vambåsa (0-2), K	41.2 (0.5)	215	205	180	8
4	Kungälv (0-2), K	40.2 (0.8)	200	165	155	8
5	Luleå (0-2), K	38.9 (0.2)	210	210	165	7
6	Kolmetorp (0-4), K	37.5 (1.6)	215	200	190	6
7	Kleva (0-4), K	40.9 (2.7)	200	170	150	10
8	Hardeberga (0-4), K	42.6 (1.7)	200	175	150	9



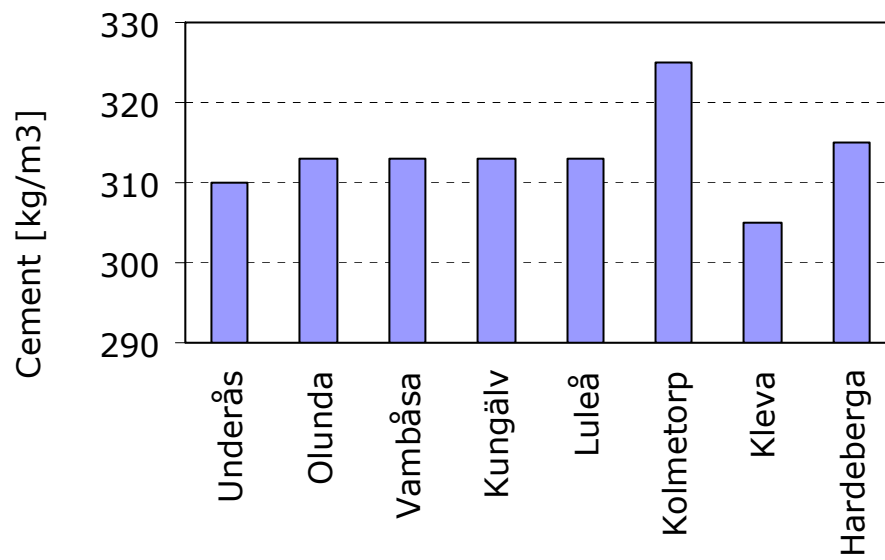
Figur 41: Variation av tryckhållfastheter



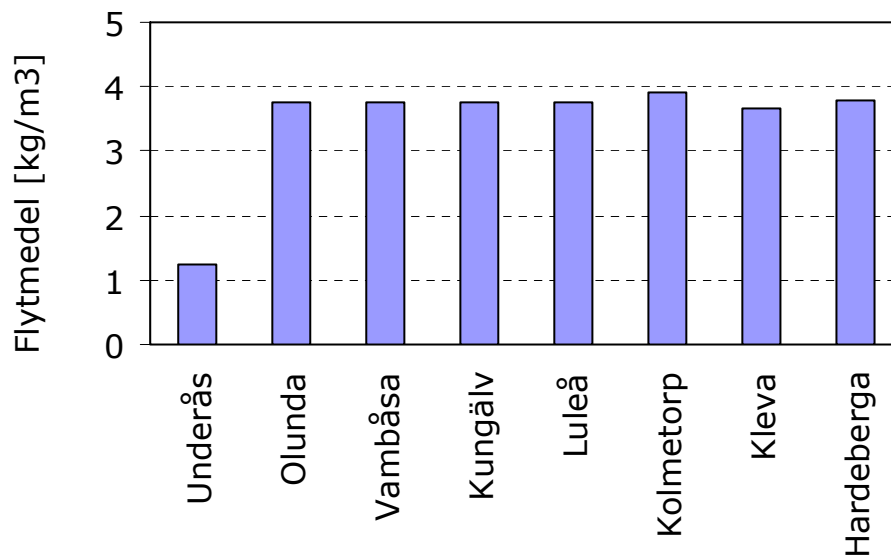
Figur 42: Variation av omformnings tal vid $t = 0$ h



Figur 43: Variation av sättningsmått vid $t = 0, 0.5$ och 1 h



Figur 44: Cement-mängd variation



Figur 45: Flyttmedel-mängd variation

3 Diskussioner

Från utförda analyser är det svårt att koppla resultaten av tryckhållfasthets- och arbetbarhetstesterna till enstaka faktorer. Det är många faktorer som avgör reologin av den färska betongmassan. Förklaringar till slutliga arbetbarheten, sättmått och omformnings tal, skall förklaras från makro till mikro nivå. Tabell 30 skall utnyttjas för detta ändamål.

Prov-6, Kolmetorp, visade den bästa arbetbarheten. Prov-2, Olunda och Prov-7, Kleva hade den sämsta arbetbarheten. Om man gör en sådan rankordning kan man skapa en tabell (Tabell 31) i vilken proverna ställas upp från den bästa till den sämsta.

Tabell 31: Sammanställning av arbetbarhetsprover från bästa till sämsta

Rankning		Sättmått [mm]			Omf. tal
		0 h	0.5 h	1 h	
1	Kolmetorp (0-4), K	215	200	190	6
2	Luleå (0-2), K	210	210	165	7
3	Vambåsa (0-2), K	215	205	180	8
4	Kungälv (0-2), K	200	165	155	8
5	Underås (0-4), N	200	175	160	9
6	Hardeberga (0-4), K	200	175	150	9
7	Kleva (0-4), K	200	170	150	10
8	Olunda (0-2), K	210	180	135	10

Enligt Tabell 28 och Tabell 29 har Kolmetorp högsta pastavolym och flyttmedel mängd. Det har också minsta ballast volym, moderat mängd filler mängd, näst minsta absorberat vatten och den högsta effektiva vattenhalt. Kolmetorp har den minsta slamhalten också (se Tabell 17). Dessa parametrar är gynnsamma för den färska massans rörlighet och förklarar varför Kolmetorp hade den bästa arbetbarheten.

Enligt Tabell 31 har Kleva och Olunda (0-2) har den sämsta arbetbarheten. Dessa prover hade låga pastavolym, filler halt och den lägsta effektivt vattenhalt i kross sand proverna. Olunda (0-2) hade den högsta absorberat vatten och mycket hög slamhalt. Däremot Kleva har låg slamhalt och lägsta vattenabsorption.

Från de här två extrema fallen kan man konstatera att pastavolym, fillerhalt och effektivt vattenhalt kan vara bidragande faktorer till den färska betongens arbetbarhet från en makro skala.

Provet Underås, olikt de andra prover, hade natur ballast mellan 0–4 fraktioner. Den har näst lägsta pastavolym och näst högsta volym ballast och absorberat vatten. Den hade lägsta effektivt vattenhalt. Den krävde den minsta flyttmedel för att klara de mål som man hade satt.

Enligt Figur 6, Hägermann utbrednings undersökningar utförda av Cementa Research, kan man göra en rankning som visar från bästa utbredning till sämsta. Tabell 32 visar rankningen enligt denna undersökning.

Tabell 32: Sammanställning av Hägermann utbredningsprover från bästa till sämsta

Rankning	0.063-2 mm	0-2 mm
1	Underås	Underås
2	Kleva	Kleva
3	Hardeberga	Hardeberga
4	Luleå	Vambåsa
5	Vambåsa	Luleå
6	Olunda	Olunda
7	Kolmetorp	Kolmetorp
8	Kungälv	Kungälv

Om man vill göra en jämförelse mellan Tabell 31 och Tabell 32 kan man inte hitta något samband. Detta kan bero på att betongen i Tabell 31 inkluderar olika cement, flyttmedel och ballastmängder.

Enligt Figur 8: Viskomat g-värde vs h-värde vid 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats, kan man göra en bedömning för de undersökta stencmjölen i bruk.

Tabell 33: Rankning av stencmjölen efter viskomat mätningar vid 5, 10 och 30 minuter efter vattentillsats.

Rankning	0.063-2 mm		0-2 mm	
1	Underås	Bra	Underås	Bra
2	Kleva		Kleva	
3	Hardeberga	Möjligen användbara eller styva i betong	Hardeberga	Möjligen användbara eller styva i betong
4	Luleå		Vambåsa	
5	Vambåsa		Luleå	
6	Olunda		Olunda	
7	Kolmetorp	Dålig	Kolmetorp	Dålig
8	Kungälv		Kungälv	

Om man jämför Tabell 33 och Figur 44 har Underås och Kleva rankats som bra i Tabell 33 och de har krävt mindre cementmängder för att uppnå de krav som

krävdes för arbetbarheten. På samma sätt har Kolmetorp och Kungälv rankats som dålig och de kräver mer cement för att klara kraven.

Skillnaden i cement mängder mellan Underås och de krossade sanden är 5 kg/m^3 förutom Kolmetorp (15 kg/m^3). Skillnader i flytmedel mängder mellan Underås och resten av proverna är ca 2.6 kg/m^3 . Detta leder till något dyrare betong.

4 Slutsatser

- Krossade sandens petrografiska egenskaper t.ex. flisighet och högre finmaterialandel påverkar negativt betongens arbetbarhet. Ju högre flisighet desto större motståndet för flytbarhet. Ju högre finmaterialandel desto större vattenabsorption.
- Med hjälp av utnyttja partikelspång tekniken och tillsätta extra cement och flytmedel kan man åstadkomma en stabil betong med bra arbetbarhet som natur sand.