

SBUF Rapport 12141

Författare
Per Lindh

Datum
2009-12-31

Telefon
042-158113

Effekter av slagg och askor i bindemedel för stabilisering



Förord

Resultaten från SBUF-projekt ” Effekter av slagg och askor i bindemedel för stabilisering” visar på möjligheter att med blandade bindemedel uppnå önskat resultat med avseende på hållfasthetstillväxt, sluthållfasthet och beständighet hos den stabiliserade jorden. De blandade bindemedlen har olika egenskaper vad gäller reaktionstid och härdningstid. Ett blandat bindemedel kan bidra till en bättre och beständigare slutprodukt. Projektet har bidragit till att öka kunskapen hur olika komponenter samverkar men också identifierat nya frågeställningar som kommer att besvaras i framtida studier.

Projektet genomfördes med stöd av SBUF, Nordkalk, Merox och SCA Lilla Edet.

Lund 2009-12-31

Per Lindh

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
1. Inledning	5
1.1 Syfte	7
1.2 Genomförande	7
2. Försöksuppläggning.....	9
2.1 Statistisk försöksplanering	9
2.2 Försöksplan.....	10
2.3 Simplex-lattice	12
3. Provkroppstillverkning	13
3.1 Inblandning och inpackning	13
3.2 Lagring och provberedning inför tryckning	15
4. Laboratieprovning	19
4.1 Seismikmätningar	19
4.2 Enaxiella tryckförsök	20
4.4 Frys-tö försök	21
5. Resultat	23
5.1 Seismikmätningar 7 dygn.....	23
5.2 Seismikmätningar 14 dygn.....	28
5.3 Seismikmätningar 28 dygn.....	33
5.4 Enaxiell tryckhållfasthet.....	38
5.5 Frys-tö-försök	44
6. Slutsatser	45
7. Rekommendationer.....	47
8. Referenser	49
Appendix A.....	50
Appendix B	52

Sammanfattning

Projektet syftar till att utvärdera effekterna av alternativa bindemedel i stabiliserings-sammanhang. De alternativa bindemedlen (slagg och aska) är tänkta att fungera som komplement till de traditionella bindemedlen (cement och kalk). I projektet har fem olika bindemedel ingått; Cement, kalk, Merit 5000, energiaska och en bioaska. De alternativa bindemedlen är restprodukter och kan på så sätt bidra till en lägre miljöbelastning.

I denna studie är det bara Merit 5000 som har visat sig medföra några signifikanta effekter på materialets sluthållfasthet. Bioaskan och energiaskan ger ett marginellt bidrag till hållfastheten i den stabiliserade jorden.

En möjlig förklaring tillvarför askor inte fungerar kan vara att ett visst tröskelvärde med avseende på totalmängd av bindemedel som måste överstigas för att få effekt av inblandningen. Ytterligare en aspekt avseende bioaskan är att den var lagrad och inte helt färsk vilket kan ha bidragit till karbonatisering under lagringstiden. Detta medför då en lägre härdningsförmåga. Samtidigt bör man fundera på om färsk aska produceras i tillräcklig mängd för att kunna vara ett hållbart alternativ till de traditionella bindemedlen. Rekommendationen är att använda bioaska till mindre lokala projekt då tillgång och efterfråga kan balanseras utan alltför långa lagringstider.

Denna studie verifierar tidigare observerade effekter av slagg i kombination med cement och kalk (Lindh, 2001). Däremot borde askornas inverkan på bindningar och hållfasthet studeras ytterligare. Den kompletterande studien borde företrädesvis göras i samarbete med en annan forskare/forskargrupp för att öka objektiviteten.

1. Inledning

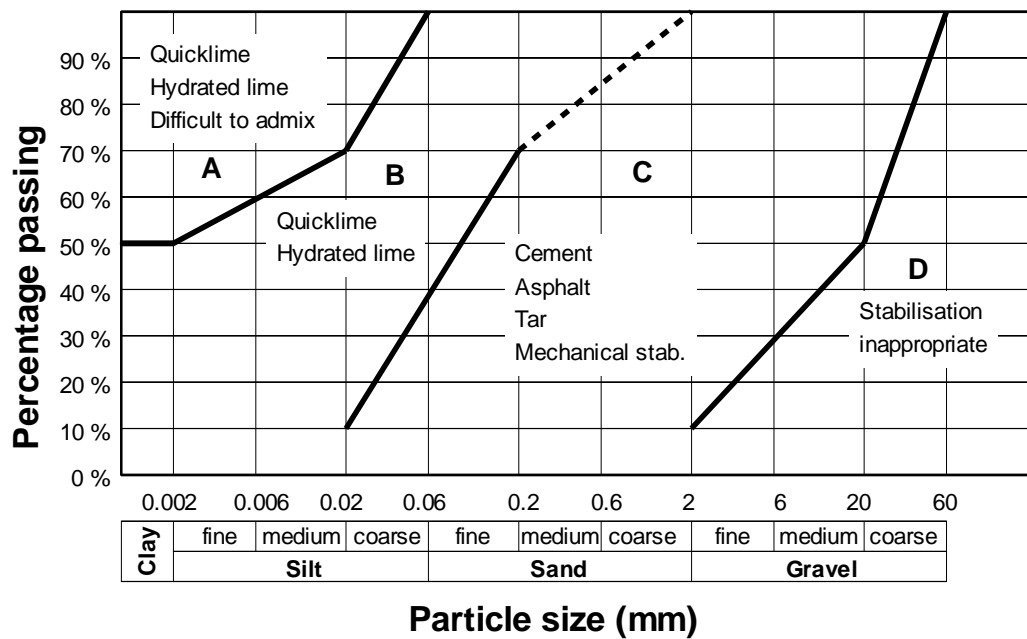
Stabilisering med oorganiska bindemedel (kalk, cement etc) är en gammal teknik som är mycket vanlig sett ur ett internationellt perspektiv. Metoden är mycket använd i Europa, USA och Australien med goda resultat. Stabilisering tillämpas i väg- och järnvägsbyggande. Metoden har mycket gamla anor. Redan på Romartiden användes kalkstabilisering i vägbyggnadssammanhang. Via Appia, den södergående huvudvägen från Rom, kalkstabiliserades år 300 f.Kr. Delar av vägen existerar ännu i vår tid. I Sverige har ytstabilisering använts sedan 1960-talet. På den tiden användes framförallt kalk och cement som bindemedel. Metoden har åter börjat tillämpas i Sverige bl.a. beroende på en övergång till analytisk vägdimensionering men också beroende på de ökade kraven vad gäller bättre resursutnyttjande med avseende på miljö och ekonomi. Stabiliseringstekniken bidrar till ett hållbarare samhälle.

I vägbyggnadssammanhang kan stabiliseringstekniken medföra en betydande ökning av vägkroppens livslängd samt ett minskat användande av ändliga naturresurser. I nuläget används företrädesvis cement och kalk som bindemedel. Valet baseras ofta på vilken typ av jord som skall stabiliseras. Generellt kan sägas att vid finkorniga jordar används mestadels kalk men för granulära jordar används enbart cement.

För att ytterligare öka metodens miljöfördelar kan olika typer av alternativa bindemedel användas. Blandade bindemedel är vanligt i bl.a. Australien (Lindh, 2004).

Tidigare studier av restproduktanvändning har framförallt inriktat sig på att använda restprodukterna som de är eller som komponenter i obundna material. Denna studie inriktar sig på att använda restprodukterna i kombination med andra bindemedel för att optimera med avseende på tekniska och ekonomiska egenskaper.

Ytstabilisering har mestadels använts för att kunna använda befintliga material och förändra framför allt hållfasthet och modul hos ursprungsmaterialet. I alla jordar spelar kornfördelning och jordkemi en viktig roll för funktionen hos bindemedlet. Som exempel fungerar kalk bra i en lera, men mindre bra i en grovkornig jord. Då stabiliseringen sker i en naturlig jord har de ingående materialkomponenterna en stor betydelse för resultatet. I litteraturen finns en mängd rekommendationer kring vilka bindemedel som ger bra resultat med olika jordar. Nedan redovisas rekommendationer från Sverige, Figur 1 (Assarsson, 1968) och Australien, Figur 2 (Auststab, 1999).



Figur 1 Rekommenderade bindemedel för olika jordtyper. Notera att tjära numera klassas som ett miljöproblem.

Binder types

- A. General Purpose (GP) cement to AS3972 (Australian Standard)
- B. General Blend (GB) cement to AS3972
- C. Cementitious blends, for binders consisting of fly ash, GP cement ground granulated blast furnace slag and lime, and including triple and quaternary blends
- D. Hydrated lime or quicklime
- E. Bitumen to AS2008
- F. Cement/bitumen blends
- G. Insoluble Polymers

Suitability

- 1. Usually very suitable
- 2. Usually satisfactory
- 3. Usually not suitable

Binder classification	Soil Type					
	Crushed rock	Well-graded gravel	Silty / Clayey gravel	Sand	Sandy / silty clays	Heavy clays
GP Cement (A)	1	1	1	2	2	3
GB Cement (B)	1	1	1	1	1	2
Cementitious blends (C)	1	1	1	1	1	3
Lime (D)	2	2	1	3	2	1
Lime & cement (C)	3	3	2	3	2	1
Lime & fly ash (C)	3	1	1	3	2	2
Bitumen (E)	1	1	2	2	3	3
Cement/bitumen (F)	1	1	2	2	3	3
Insoluble polymer (G)	2	1	1	3	1	2

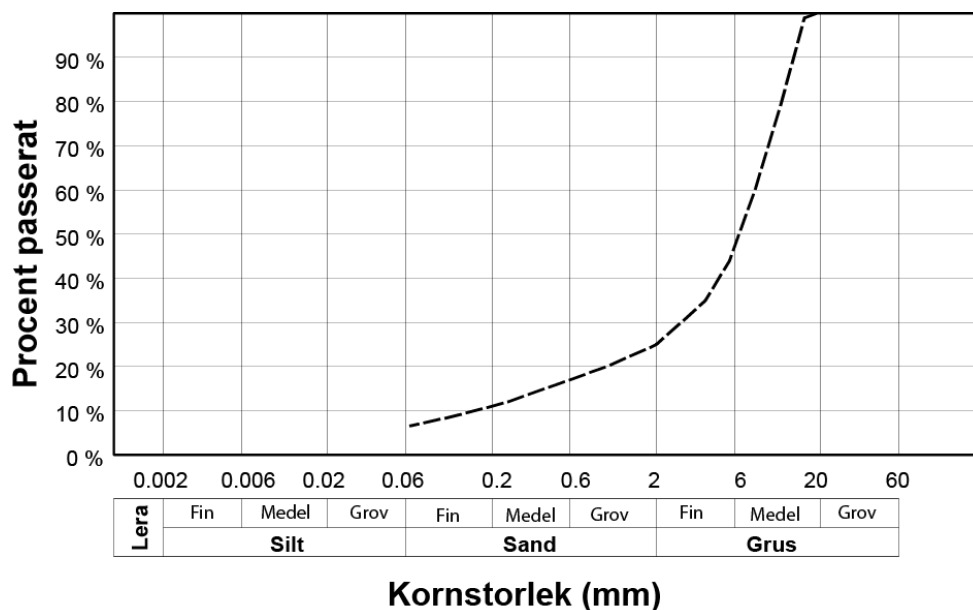
Figur 2. Figuren visar hur bra olika bindemedel fungerar med olika jordtyper enligt Auststab (2004).

1.1 Syfte

Syftet är att hitta ett bindemedel eller en bindemedelskombination som är optimerad med avseende på tekniska egenskaper för ett inert ballastmaterial. I optimeringen ingår de tekniska parametrarna som bindemedlets öppettid, hållfasthetstillväxt, hållfasthet och beständighet för det aktuella materialet. Det förväntade resultatet är att de traditionella bindemedlen kan spädas ut med slagg och/eller askor och på så sätt bidra till ett bättre resursutnyttjande.

1.2 Genomförande

Projektet genomförs som en laboratoriestudie. Studien omfattar två traditionella bindemedel (cement och kalk) och tre alternativa material. De alternativa materialen är slagg (Merit 5000), flygaska från SCA Lilla Edet och flygaska från kolförbränning (ISO-certifierad). Som ballastmaterial används ett bärlagergrus (0-18), se figur 3.



Figur 3. Kornfördelningskurva för bärlagergrus som använts i studien.

Valet av ballastmaterial är baserat dels på provkroppsstorleken, $\varnothing = 100$ mm, vilket ger en största tillåtna partikelstorlek på 20 mm. Ytterligare ett kriterium var att använda ett material med en liten variation i egenskaperna och därmed minimera variationen i resultaten. Ytterligare en aspekt var att ballastmaterialet skulle vara inert och på så sätt inte bidra till hållfasthetstillväxt i kombination med något bindemedel. Dessutom är det valda materialet ett material som används i reella projekt.

I första steget tillverkades provkroppar med olika bindemedelsrecept. För att säkerställa resultatens signifikansnivå baseras recepten på tidigare erfarenheter i kombination med statistisk försöksplanering. Statistisk försöksplanering minimerar antalet försök som behöver utföras med önskad signifikansnivå. För fem olika bindemedel innebär detta att ca 100 provkroppar tillverkas. Dessa provkroppar lagras i minst 90 dygn för att uppnå en sluthållfasthet även för långsamthärdande komponenter. Under lagringstiden har kompressionsvågens hastighet och i vissa fall även skjuvvågens hastighet uppmätts i materialet vid olika tidpunkter.

De valda bindemedelsrecepten baserades på tidigare erfarenhet och tillsammans med statistisk försöksplanering säkerställdes resultatens signifikansnivå. De styrande parametrarna är materialets hållfasthetsutveckling, sluthållfasthet och beständighet (frys-tö). Som provmetoder används både oförstörande (seismik) och förstörande provning (enaxiell tryckhållfasthet).

2. Försöksuppläggning

2.1 Statistisk försöksplanering

För att öka effektiviteten i undersökningen har statistisk försöksplanering tillämpats. Montgomery (1997) har listat några punkter som bör finnas i åtanke då statistiska tekniker används:

1. Använd ickestatistisk kunskap på problemet.
2. Håll designen och analysen så enkel som möjligt.
3. Känn igen skillnaden mellan praktisk och statistisk signifikans.
4. Experiment är ofta iterativa.

I detta specifika fall kan metodiken ses som en processoptimering där framförallt hållfastheten har använts som bedömningskriteriet. På frågan varför statistisk försöksplanering bör/skall användas är svaret enligt Montgomery (1997) att när en problemställning innehåller data som kan vara behäftade med experimentella fel är en statistisk metodik den enda objektiva förhållningssättet till analysen.

I den initiala fasen sammanställs tidigare erfarenheter från litteratur och egen erfarenhet. Utifrån detta görs en mindre provserie innan den slutgiltiga försöksserien fastställs. Här används statistisk hypotes provning.

Nollhypotesen (H_0) i detta fall är att alla bindemedlen ger samma hållfasthet och alternativhypotesen att de inte ger samma hållfasthet. Två olika fel kan göras när hypoteser testas:

$$\alpha = P(\text{typ I fel}) = P(\text{förförkasta } H_0 \mid H_0 \text{ är sann}) \quad (1)$$

$$\beta = P(\text{typ II fel}) = P(\text{misslyckas att förförkasta } H_0 \mid H_0 \text{ är falsk}) \quad (2)$$

där α oftast kallas testets signifikansnivå. I detta fall har $\alpha = 0,05$ använts. Detta innebär 5 % sannolikhet att H_0 förförkastas trots att H_0 är sann.

Till sin hjälp att designa försök/experiment har Montgomery (1997) sammanställt följande punkter:

1. Identifiering och problemformulering
2. Val av faktorer, nivåer och gränser
3. Val av responsvariabler
4. Val av experimentell modell
5. Utföra experimenten
6. Statistisk analys av data
7. Slutsatser och rekommendationer

Delar av ovanstående punkter sker iterativt och vissa delar sker även parallellt. Ytterligare en viktig faktor är att inte bortse från den icke-statistiska kunskap som finns om problemställningen (Box et al, 1978)

2.2 Försöksplan

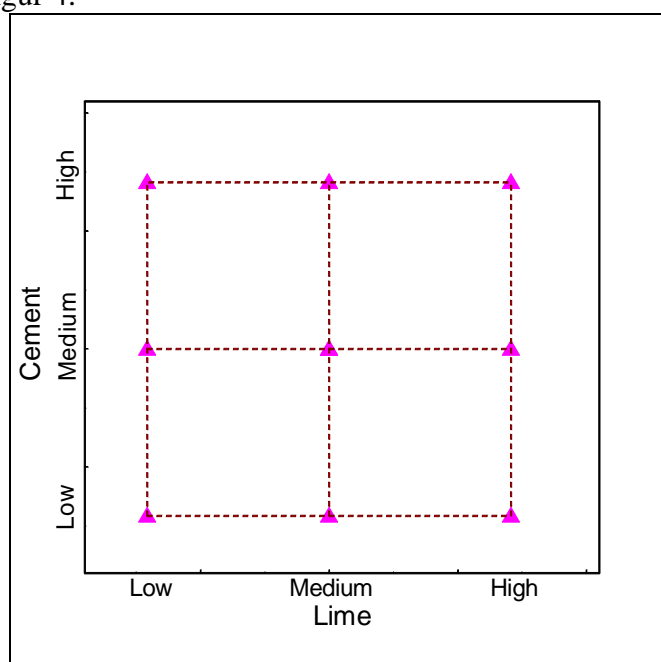
Försöksuppläggningsen baseras på frågeställningen hur mycket alternativa bindemedel kan användas i en stabiliserad jord med bibehållna eller förbättrade egenskaper.

Valet av bindemedel begränsades till fem olika varianter varav tre kan betecknas som alternativa bindemedel. Askorna kan även räknas till kategorin restprodukter. Total bindemedelsmängd valdes så att de skulle vara representativa för stabilisering av vägar. I vägsammanhang är en tryckhållfasthet runt 4 MPa ett ganska vanlig. Cement är i undersökningen ett referensbindemedel då det är väldokumenterat. Vidare var tanken att provkroppar med cement skulle hamna runt 4 MPa i tryckhållfasthet.

För att genomföra undersökningen valdes seismik (oförstörande provning) och enaxiell tryckhållfasthet (förstörande provning) som responsvariabler.

För att undersöka hur fem olika bindemedel fungerar enskilt och i kombination med varandra finns olika angreppssätt. En vanligt förekommande metod är att låsa alla parametrar utom en som varierar. Detta upprepas med nästa parameter o.s.v. Metoden är vanlig men innebär att samspelseffekter och andra ordningens effekter mellan olika komponenter missas i utvärderingen. Dessa samspel kan var både positiva och negativa, d.v.s. ett missat samspel kan inte bara vara att vi är på "säkra sidan" utan även att vi hamnar på "fel sida".

Som alternativ till ovanstående finns responsytmetoden. Metodiken innebär att alla variablerna som påverkar processen (t.ex. hållfastheten) varierar enligt ett speciellt schema. I ett faktorförsök varierar mängden bindemedel antingen enligt låg och hög inblandning eller låg, medel och hög inblandning beroende på om andra ordningens effekter skall beaktas. Metoden är väldigt effektiv d.v.s. få försök ger tillräckligt med data. Ytterligare en fördel med metoden är att olika bindemedelsnivåer utvärderas. Nackdelen är att i de provkroppar med höga halter av flera bindemedel blir halten väldigt hög. En enkel illustration med endast två bindemedel visas i figur 4.

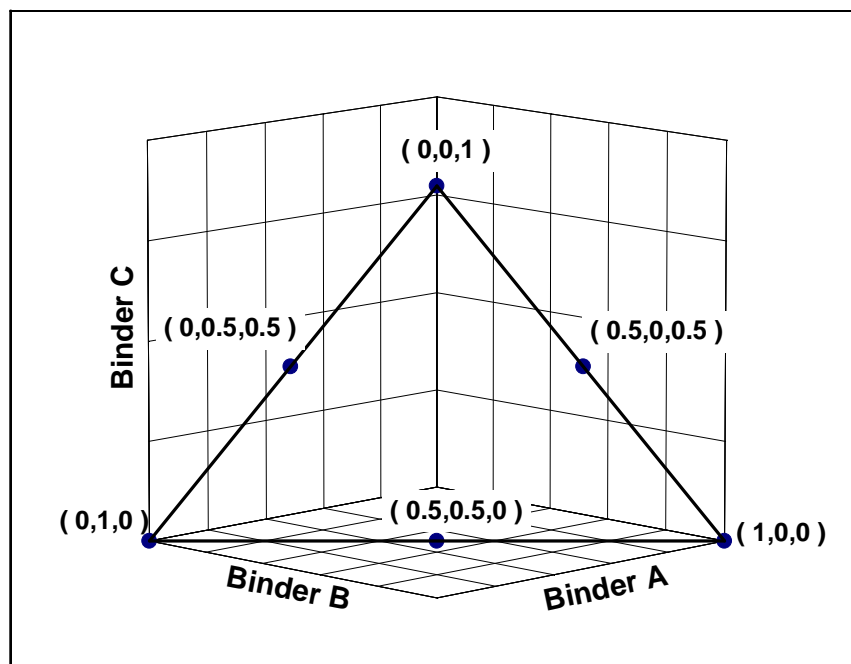


Figur 4. Illustrationen visar ett 3^2 faktorförsök.

I denna studie med fem olika bindemedel innebär ett vanligt faktorförsök att vi måste utvärdera prover i ett mycket stort hållfasthetsspänn. Spannet blir så stort att vi når långt utanför det som vi normalt betecknar som stabiliserat. Snarare får vi ett material som mer liknar en vältbetong. Vidare tillkommer frågeställningen hur vi skall hantera vatten bindemedelstalet (vbt). För det ballastmaterial som valts i denna undersökning ligger optimal vattenkvot på ca 6 %. Vid en varierad bindemedelsmängd kommer även vbt att variera. Detta kommer då att variera hållfastheten hos provkropparna och ytterligare komplicera utvärderingen. Om vi i stället låser fast vbt måste vi variera materialets vattenkvot vilket i sin tur kommer att variera provkropparnas packningsgrad. Packningsgraden kommer då in som en svårbedömd variabel i utvärderingen av bindemedlets effekt på hållfastheten.

För att komma tillrätta med några av ovanstående nackdelar kan försök med begränsade responsytor (constrained design) användas (Myers and Montgomery, 1995). Detta innebär dock en ökad mängd förundersökningar och en komplexare utvärdering.

Ett tredje alternativ är att välja det som på engelska kallas ”mixture experiment”. Detta är en speciell form av responsyta där faktorerna är ingredienser eller komponenter av blandningen och responsen är en funktion av varje ingrediens andel, se figur 5 (Myers och Montgomery, 1995).



Figur 5. Schematisk bild över en ”mixture design” med tre faktorer; A, B och C. Försöksupställningen kallas simplex-lattice {3,2}.

Nackdelen med en ”mixture design” är att bindemedelshalten inte är oberoende d.v.s. den totala mängden bindemedel för varje provkropp är lika men består av olika blandningar. Detta innebär att endast en total bindemedelshalt testas jämfört med ett ordinärt faktorförsök där två eller tre nivåer av bindemedelshalter testas. För att behandla flera olika nivåer av bindemedelshalt måste då två eller tre ”mixture försök” utföras. Då studien i första hand inriktar sig på att undersöka effekterna av askinblandning i ett ordinärt bindemedel valdes att utföra försöken på endast en nivå (3 % inblandning). Trots denna avgränsning ingår 82 olika provkroppar i försöket.

2.3 Simplex-lattice

Som försöksupställning valdes en ”mixture design” som benämns simplex-lattice. En simplex-lattice design kan utföras enligt en kvadratisk modell eller en speciell kubisk modell.

För en simplex-lattice design med tre faktorer kan den kvadratiske modellen beskrivas av följande ekvation;

$$y = \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_{12} * x_1 * x_2 + \beta_{13} * x_1 * x_3 + \beta_{23} * x_2 * x_3 + \varepsilon \quad (3)$$

och den kubiska modellen kan beskrivas enligt följande;

$$y = \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \beta_3 * x_3 + \beta_{12} * x_1 * x_2 + \beta_{13} * x_1 * x_3 + \beta_{23} * x_2 * x_3 + \beta_{123} * x_1 * x_2 * x_3 + \varepsilon \quad (4)$$

där y är responsytan och ε beskriver feltermen.

Skillnaden mellan kvadratisk och kubisk modell är att i den kubiska modellen bestäms även den kubiska termen $x_1 * x_2 * x_3$. Den ökade upplösningen i den kubiska modellen innebär dock att en större mängd försök måste utföras.

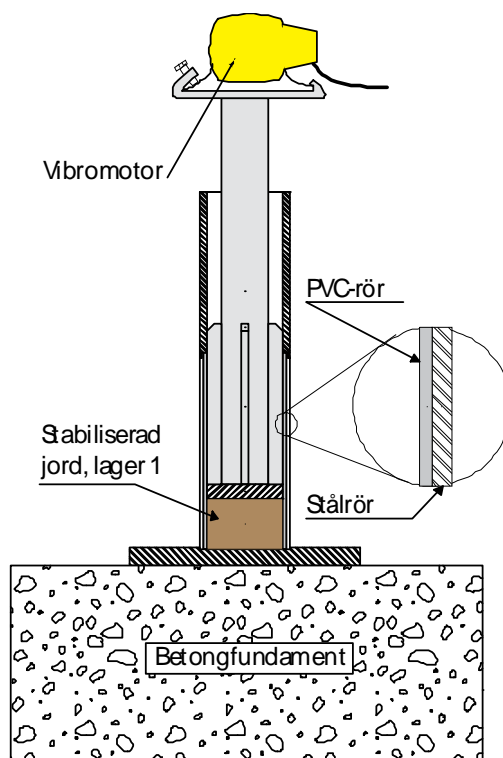
I denna studie med fem olika faktorer och en kubisk design med ett utökat antal inre punkter och ökad andel punkter på ränderna (jmf figur 4) och dubbelförsök blir det totala antalet provkroppar 82 stycken.

3. Provkroppstillverkning

3.1 Inblandning och inpackning

Ballastmaterial (bärlager) vägs upp i tre satser om vardera 1700 g. Vatten mättes upp i mätglas så ATT det motsvarade 102 g per sats vilket ger en vattenkvot på 6 % före bindemedelstillsatsen och 5,8 % när bindemedelsmängden är medräknad. Bindemedel vägdes upp enligt designschemat, se appendix A. Försöksuppläggningsen innebär att provkropparna stabiliserades med allt från ett till fem olika bindemedel. Dock var den totala halten bindemedel 51 g per sats. Detta motsvarar en bindemedelshalt på 3 % baserat på bärlagrets torrsvikt. Satserna blandades i en blandningscylinder av stål. Blandningsverktyget bestod av en stålvisp som drevs av en kraftig bormaskin. Efter det att de tre satserna var blandade fick de vila i en timme. De tre satserna slogs sedan samman och blandades. Utifrån denna blandning vägdes tre nya satser upp om vardera 1500 g. Resterande material användes för en vattenkvotsbestämning.

Provkropparna tillverkades i en speciell packningsutrustning som är framtagen för att packa in stabiliserad finkornig morän (Lindh, 2004). Proverna packas in i ett plaströr med en utanpåliggande stålcyllinder, se figur 6. I packningsutrustningen bevaras den av packningen uppkomna horisontalspänningen genom att proverna inte avformas förrän lagringen är avslutad. Tillverkningen utförs i tre skikt om vardera 1500 g stabiliserat bärlager. Mellan de olika skikten ritsas ytan för att säkerställa god vidhäftning. Efter packning lockades provkropparna ut ur utrustningen, mättes, vägdes och parraffinerades. Parraffineringen gjordes för att ingen uttorkning av provkropparna skulle ske under lagringen. Det använda paraffinet har en låg smältpunkt, 44 °C, för att minimera påverkan på provkroppen.



Figur 6. Packningsutrustning för stabiliserad jord.



Figur 7. Underytan på en stabiliserad provkropp.

Vid inpackning av provkropparna observerades separation i materialet. Vid provberedningen vidtogs alla tänkbara försiktighetsåtgärder för att minimera separation, men trots detta uppstod en viss separation. Effekten varierade mellan de olika bindemedlen. Energi- och bio-askorna uppvisade mer separation jämfört med övriga. Separationen kan ses i figur 7 och 8. Figur 7 visar bottenytan på en inpackad provkropp. Den visar ett underfyllt material, d.v.s. där finns för lite finmaterial mellan de grövre partiklarna. Figur 8 visar överytan på en inpackad provkropp. Denna figur visar ett överfyllt material, d.v.s. här finns för mycket finmaterial så att de grövre partiklarna inte har någon direktkontakt.



Figur 8. Överytan på en stabiliserad provkropp.

3.2 Lagring och provberedning inför tryckning

Efter parraffinering lagrades provkropparna i 90 dygn. Under lagringstiden utfördes resonansfrekvensmätningar (free-free resonat colum) på provkropparna. Dessa tester utfördes efter 7, 14 och 28 dygns lagring. Efter 90 dygns lagring kapades provkropparna till rätt längd (205mm). Snitten görs i båda ändar så att två sågytor erhålls. Efter kapning görs två längsgående snitt i plaströret och provkroppen avformas helt. Efter avformning vägs och mäts provkropparna.

I samband med avformningen upptäcktes vissa former av inhomogenitet i provkropparna. I figur 9 visas en varierad ytporositet som härrör från packningscyklindern på grund av friktion mellan de vassa kornen och plasten. Denna form av porositet är svår att helt undvika hos ett bärlagermaterial då det är krossat. I figur 10 syns inhomogenitet mellan de olika lagren. Kratsningen mellan lagren har inte fungerat på ett tillfredställande sätt. Vissa bindemedel gav upphov större ythomogeniteter än andra. En orsak till variationen kan vara hur de olika bindemedlen tog upp vatten under blandning och under viloperioden på en timme före packning.



Figur 9. Provkropp 39. Provkroppen innehåller en blandning av alla fem bindemedlen. I fotot kan de tre olika delsatserna skönjas.

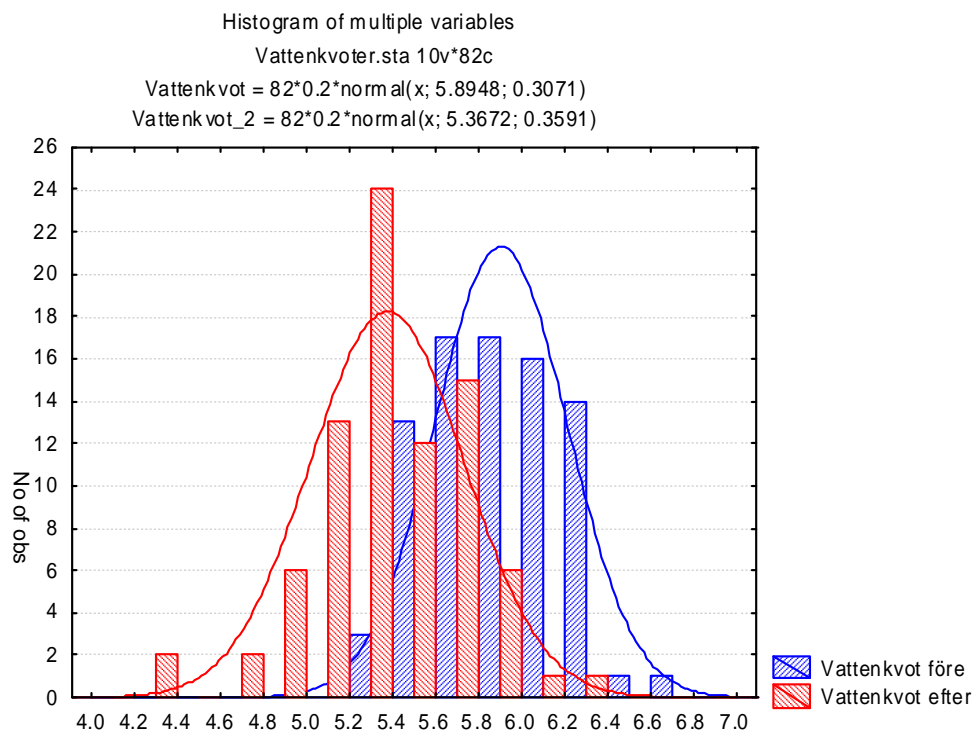


Figur 10. Provkropp 27. Provkroppen innehåller 1/3 cement, 1/3 kalk och 1/3 energiaska. Provkroppen uppvisar ett porsystem vid packningsgränserna.

Figur 11 illustrerar både variationen i vattenkvot mellan provkropparna och skillnaden mellan före och efter lagring i 90 dygn. Eftersom provkropparna varit paraffinerade har inget vatten lämnat proverna utan skillnaden i vattenkvot beror på de kemiska reaktionerna under lagringstiden. Målvattenkvoten för det stabiliserade materialet var 5,8 % då bindemedlet var inräknat. Histogrammet i figur 11 visar på ett medelvärde före lagring på 5,89 % med en standardavvikelse på 0,307 och efter lagring var medelvärdet 5,37 och standardavvikelsen 0,359.

Variationen i vattenkvoterna är inte större än förväntat. Variationerna beror bl.a. på sammansättningen av det material som användes för vattenkvotsbestämningen. I prover med låg vattenkvot har det förekommit mer grövre material och omvänt för de med hög vattenkvot. Detta beror på att grövre korn inte kan binda lika mycket vatten som flera mindre

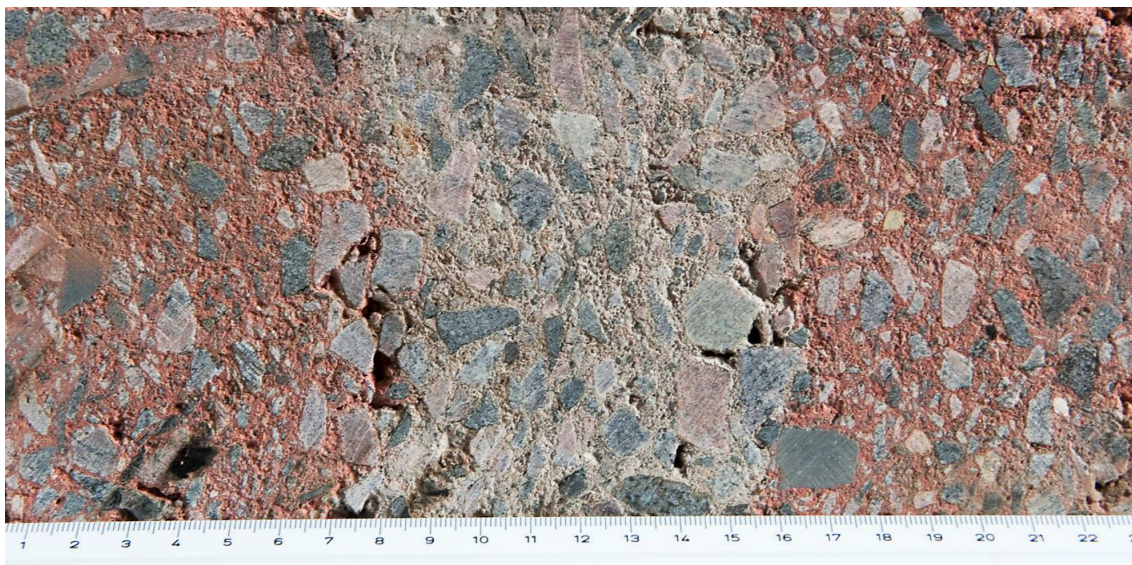
korn tillsammans kan göra. Mätningen utfördes som en kvalitetskontroll för att kassera eventuella outliers. Två prover kasserades på grund av felaktiga vattenkvoter. De prover som redovisas i figur 11 är enbart de accepterade proverna.



Figur 11. Histogram över vattenkvoterna i provkropparna i försöksserien. Blå färg visar vattenkvoterna före lagring och röd färg visar vattenkvoterna efter 90 dagns lagring.

För att ytterligare undersöka provkropparnas homogenitet tillverkades två extra provkroppar. Precis som övriga provkroppar tillverkades de i tre skikt och mellan varje skikt kratsades det underliggande lagret så att inget helt jämnt horisontellt skikt skulle uppstå. Kratsningen utfördes med omsorg då den ansågs viktig för ett bra resultat. De speciella provkropparna tillverkades med två respektive ett skikt infärgat med järnoxid. I provkropparna användes enbart cement som bindemedel. I den ena provkroppen var mellanskiktet ofärgat. I de andra två skikten fanns en röd färgtillsats. För extraprovkropp nummer två var enbart mittenskiktet infärgat. Då provkropparna hade härdat i 28-dygn så klövs provkropparna så att där blev en sågad snittyta genom provkroppens axiella centrum, se figur 12. Figuren visas två inre porstrukturer i gränsskiktet mellan skikten. Dessa porstrukturer kan anses bero på tillverkningsförfarandet då de övriga områden i provkroppen är mycket homogena och kompakta med en för ögat ej synlig porstruktur.

Figur 13 visar en detalj av ett sågsnitt. Fotot visar på att där inte funnits tillräckligt med finmaterial för att fylla ut hela porvolymen vid provkroppsinstampningen.



Figur 12. Foto på kluven provkropp med inre slutna porstrukturer vid skiktgränserna.

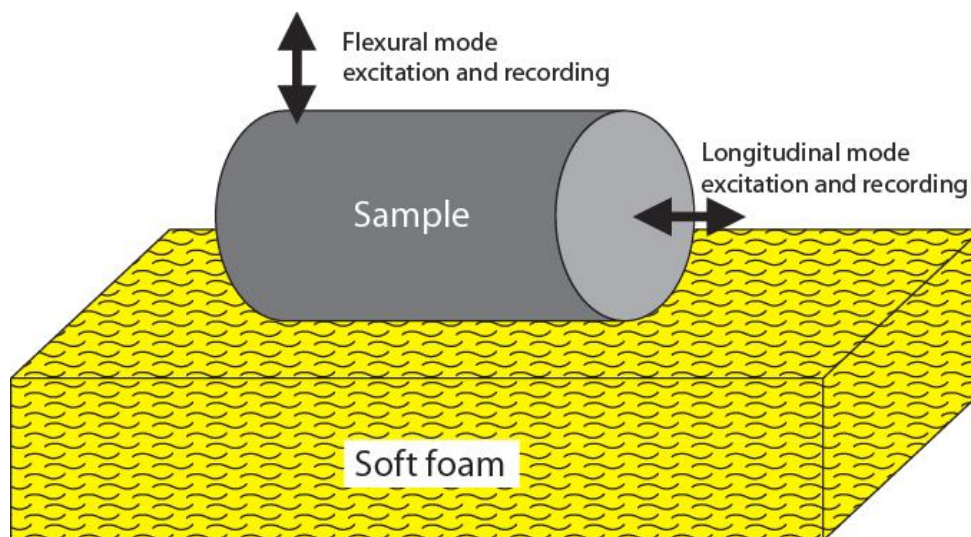


Figur 13. Foto visande inre porstrukturer uppkomna i samband med tillverkning.

4. Laboratorieprovning

4.1 Seismikmätningar

Den seismiska hastigheten i provkropparna har mätts med resonansfrekvenstekniken, s.k. free-free resonant column test. Alla elastiska kroppar har en uppsättning resonansfrekvenser (f_r) som är direkt relaterade till kroppens randvillkor, elastiska konstanter, geometri och massa. Genom att mäta provkroppens resonansfrekvens samt massa och geometri kan provkroppens elastiska konstanter (modul eller hastighet) beräknas. I försöken användes en uppställning som visas i figur 14 för att mäta den seismiska hastigheten i den stabiliserade provkroppen (Malhotra and Carino, 2004; ASTM C 215-02). Metoden innebär att provkroppen är placerad ”fri” på mjukt skumgummi och vibrationerna åstadkoms med en liten stålsvår. De resulterande ”fria” vibrationerna mäts med en accelerometer eller mikrofon. De resulterande uppmätta fria vibrationerna transformeras till frekvensdomän för utvärdering av resonansfrekvensen. Resonansfrekvensen kan observeras som pika i det korresponderande amplitudspektrat i den mätta signalen. Ett slankhetstal på 2, d.v.s. provkroppens längd är 2 ggr provkroppens diameter medför både enkla mätningar och beräkningar jämfört med andra geometrier (Nazarian *et al.*, 1999; Subramaniam *et al.*, 2000).

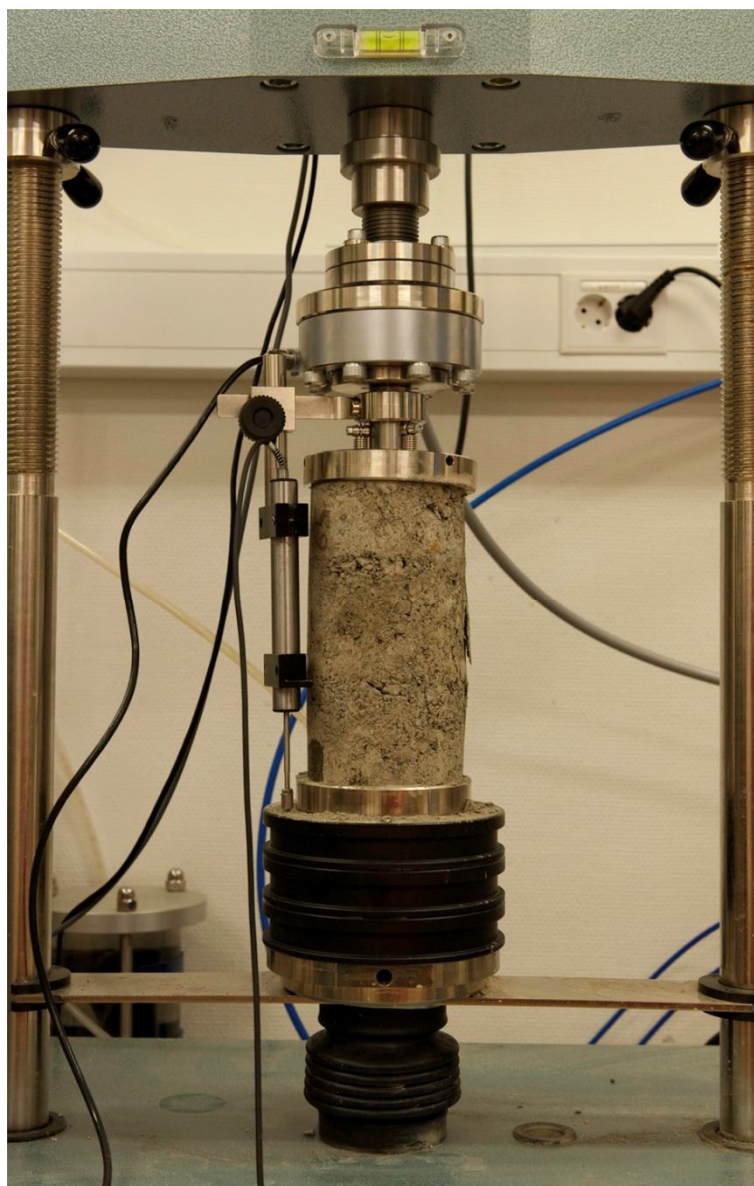


Figur 14. Uppställning för s.k. “Free-free resonant column test”.

Tidigare mätningar i plaströr har utförts med mycket goda resultat (Rydén *et al.*, 2006). Seismikmätningarna i den här studien utfördes första gången efter lagring av provkropparna i 7 dygn. Paraffinet på ändytorna avlägsnades vid själva mätningen och därefter återförseglades ändytorna. Mätningarna enligt denna metoden upprepades vid 14, 24 och 90 dygn. På 7 dygnsmätningarna mättes både axiellt (kompressionsvåg) och radiellt (skjuvvåg). Resultatet från de radiella mätningarna gav stor spridning i resultat och i vissa fall mycket svårtolkade resultat. Denna spridning anses härröra från låg hållfasthet hos vissa provkroppar i kombination med att mätningarna utfördes utanpå plaströret. Därav avslutades de radiella mätningarna då inga användbara resultat kunde registreras på ett antal av provkropparna.

4.2 Enaxiella tryckförsök

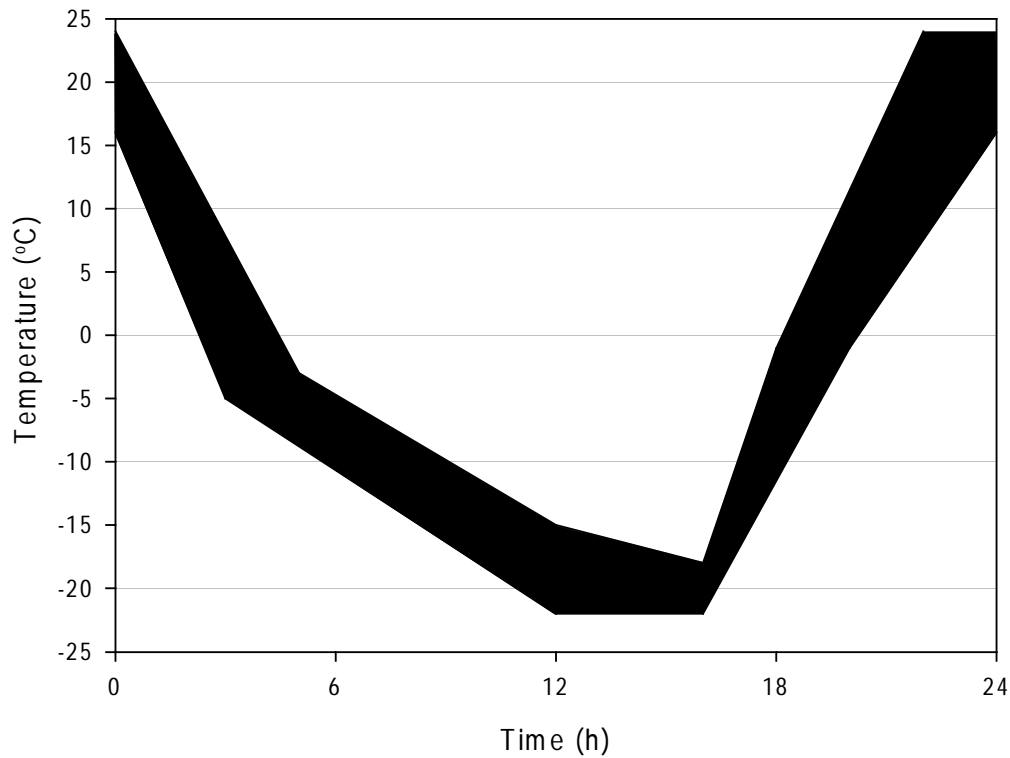
De enaxiella tryckförsöken utfördes i en 10-tons tryckpress, se figur 15. Försöken kördes deformationsstyrda enligt SS-EN 13286-41. Enligt standarden skall brotlasten uppnås mellan 30 och 60 sekunder. Denna tid uppnåddes vid en deformationshastighet på 3 till 4 mm/s. Inga synliga samband mellan lagergränser och brottytor har kunnat konstateras på någon av de testade provkropparna. Provkropparna uppvisade timglasformade brottytor som var helt oberoende av skiktgränserna.



Figur 15. Fotot visar en provkropp som uppnått brott efter enaxiellt tryckförsök.

4.4 Frys-tö försök

Frys-tö-försöken utfördes enligt SS-EN 137244. I metoden fryses provkropparna i totalt 56 cykler. Mängden avflagat material mäts efter 7, 14, 28, 42 och 56 dygn. Temperaturen varierar enligt figur 16 och skall hållas inom det svarta fältet. Inget extra vatten tillsattes under cyklerna.



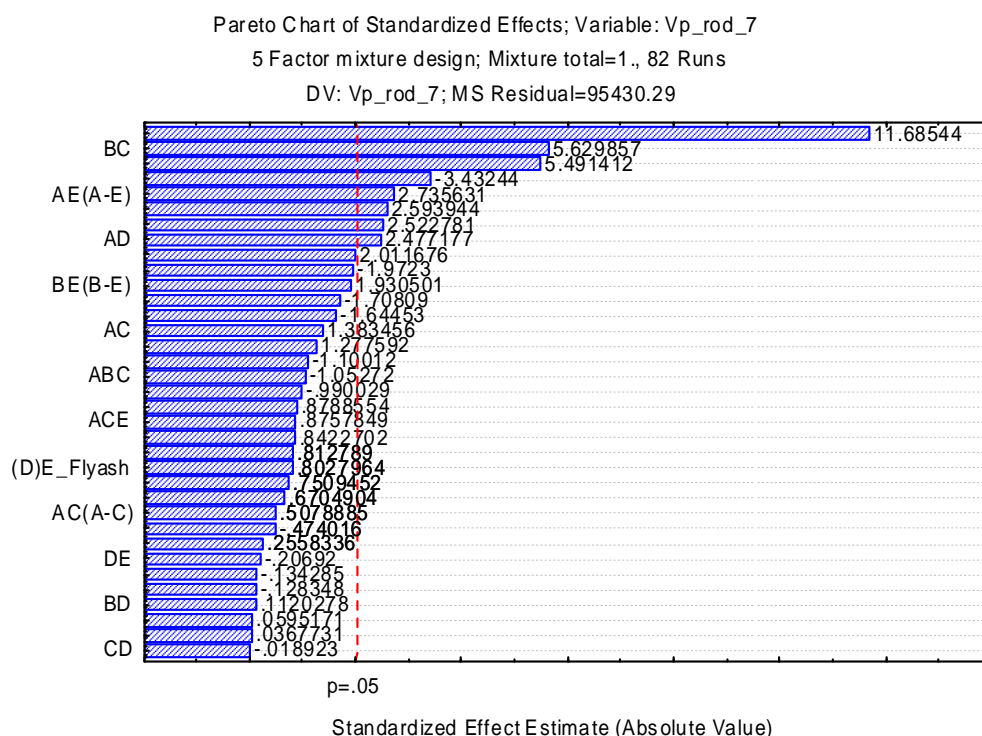
Figur 16. Temperaturcykel för frys-tö försöken enligt SS-EN 137244.

5. Resultat

I utvärderingen av försöksresultaten har stegvis eliminering av ickesignifikanta effekter tillämpats. Detta innebär att den första analysen innehåller alla effekterna. Därefter plockas de ickesignifikanta effekterna bort tills modellen enbart består av signifikanta effekter. Metoden kallas på engelska ”backward elimination” och finns beskriven i Myers och Montgomery (1995). Se även Appendix B.

5.1 Seismikmätningar 7 dygn

Här har provkropparna lagrats i 7 dygn efter tillverkning. I figur 17 visas ett pareto-diagram över alla effekterna i den kubiska modellen. Paretodiagram är ett enkelt men kraftfullt verktyg att identifiera signifikanta effekter. Förklaringarna på staplarna framträder tydligare i figur 18.

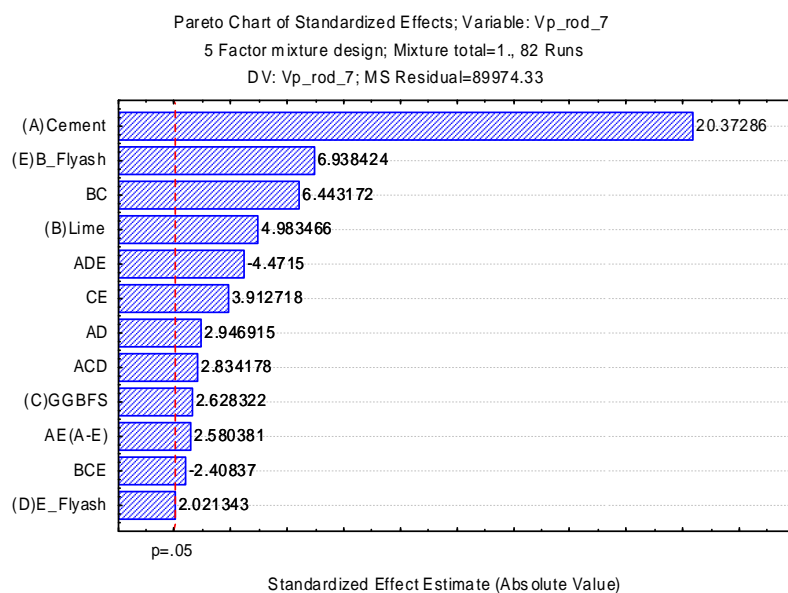


Figur 17. Paretodiagram över alla effekter som ingår i den kubiska modellen för 7 dygnsmätningarna.

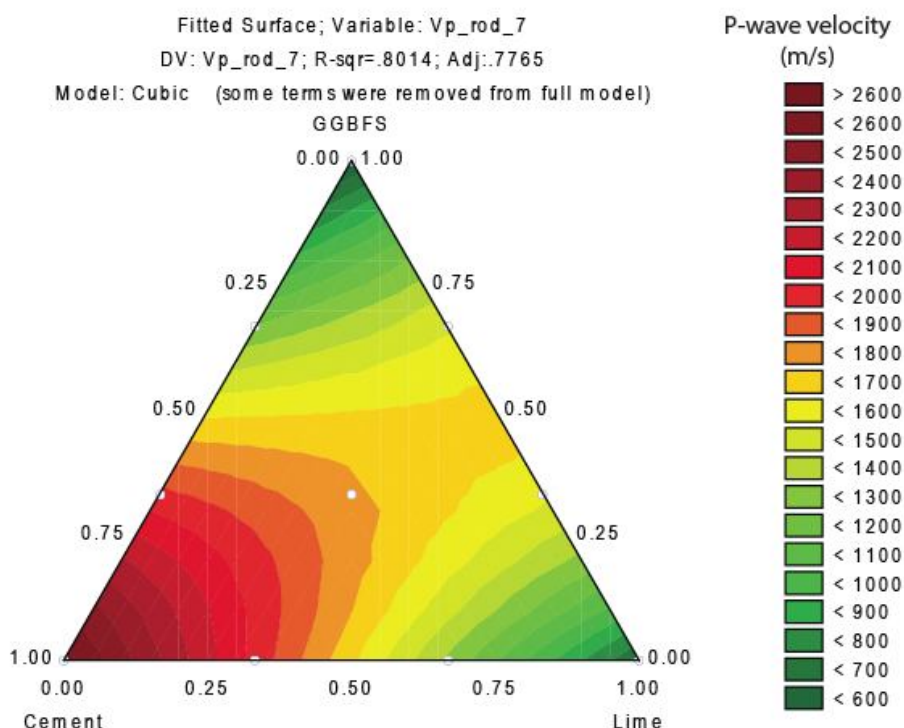
Figuren skall tolkas så att de stapla som inte når över den röda streckade linjen inte är signifikanta för resultatet, d.v.s. kompressionsvågshastigheten vid 7 dygn. I tabell 1 redovisas rena bindemedel samt två av de binära bindemedlen.

Tabell 1. Översättningstabell mellan beteckningar i paretodiagramen och bindemedel.

Beteckning	Bindemedel	Figurtext
(A)	Cement	Cement
(B)	Kalk	Lime
(C)	Slagg	GGBFS (Merit)
(D)	Energiaska	E_Flyash
(E)	Bioaska	B_Flyash
(AB)	Cement och Kalk	
(AC)	Cement och Slagg	
etc		

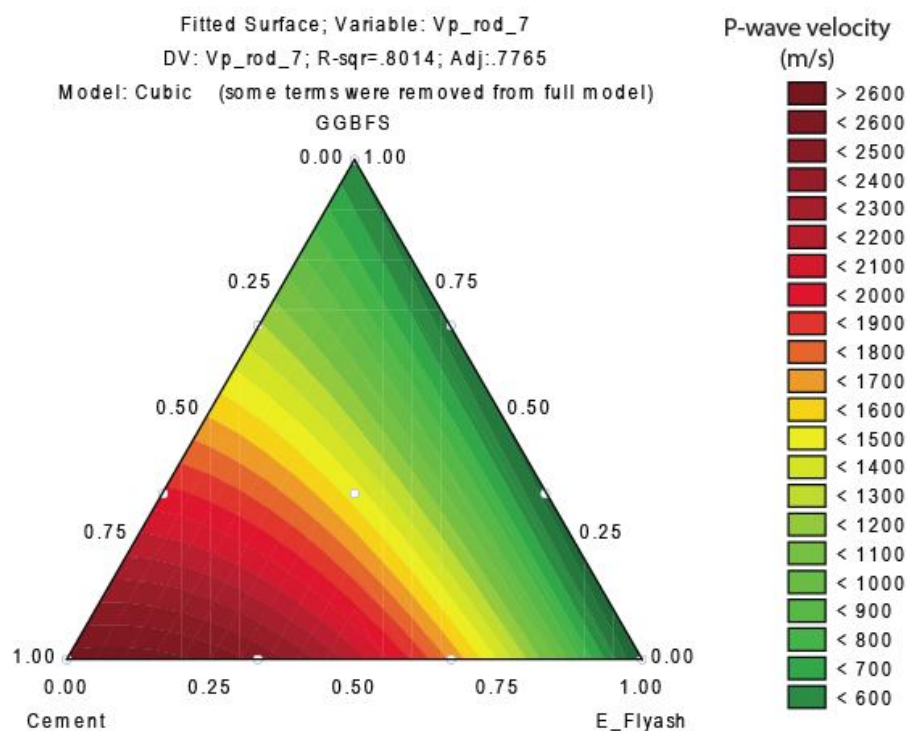


Figur 18. Paretdiagram över alla signifikanta effekter som ingår i den kubiska modellen.

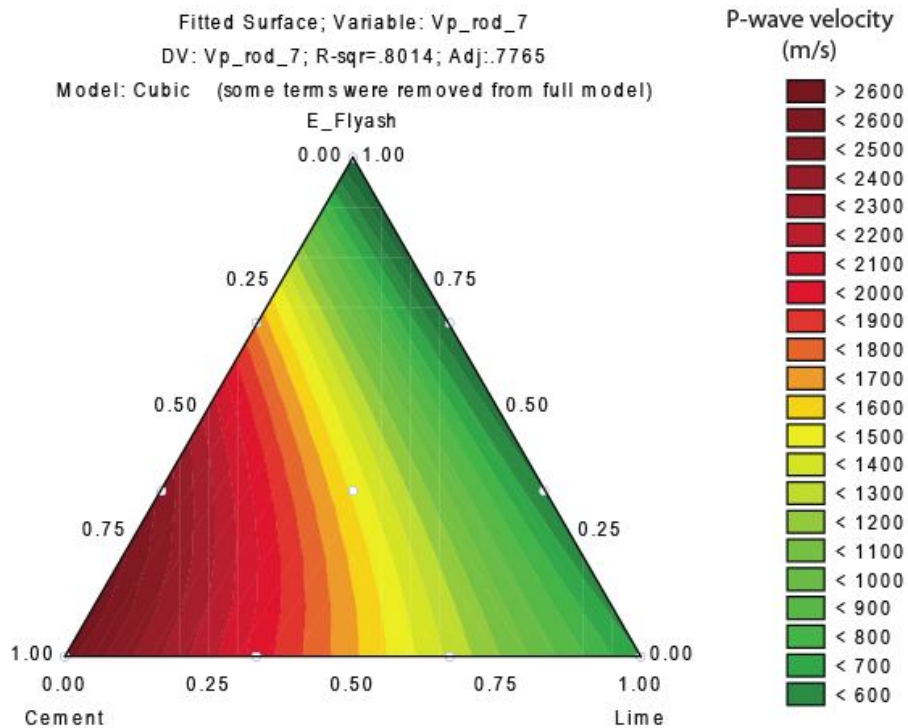


Figur 19. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för cement, kalk och slagg.

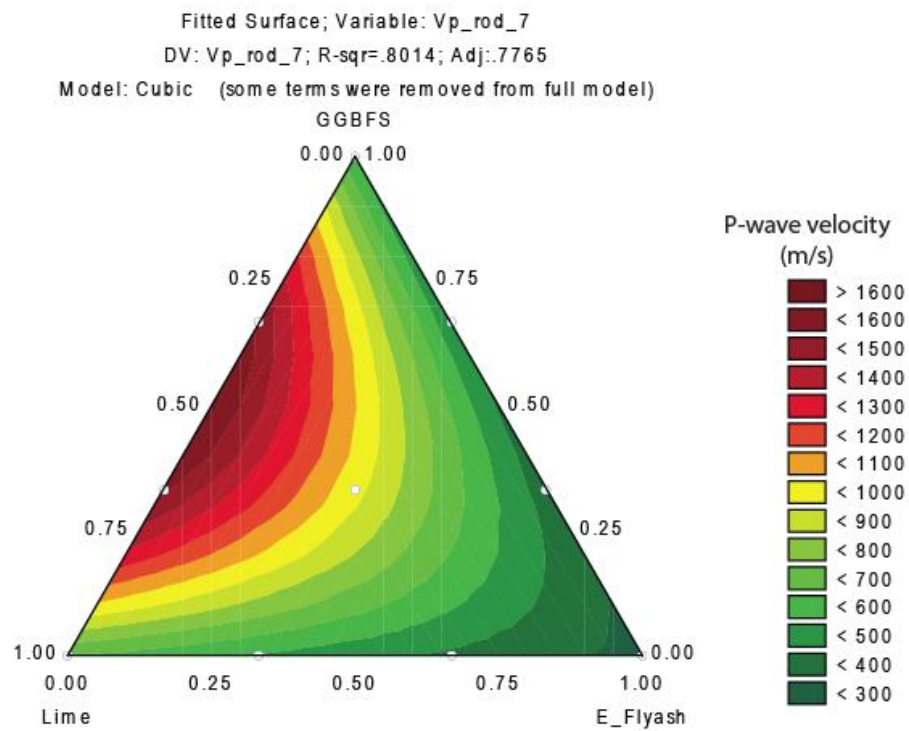
I hörnen på triangeln i figur 19 finns enbart ett bindemedel. I detta fall cement, respektive kalk, respektive slagg. I mitten på triangeln finns 1/3 var av de tre bindemedlen. På ränderna finns en blandning av två bindemedel. Exempelvis så finns där olika proportioner av cement och kalk på den horisontella randen, jmf figur 5.



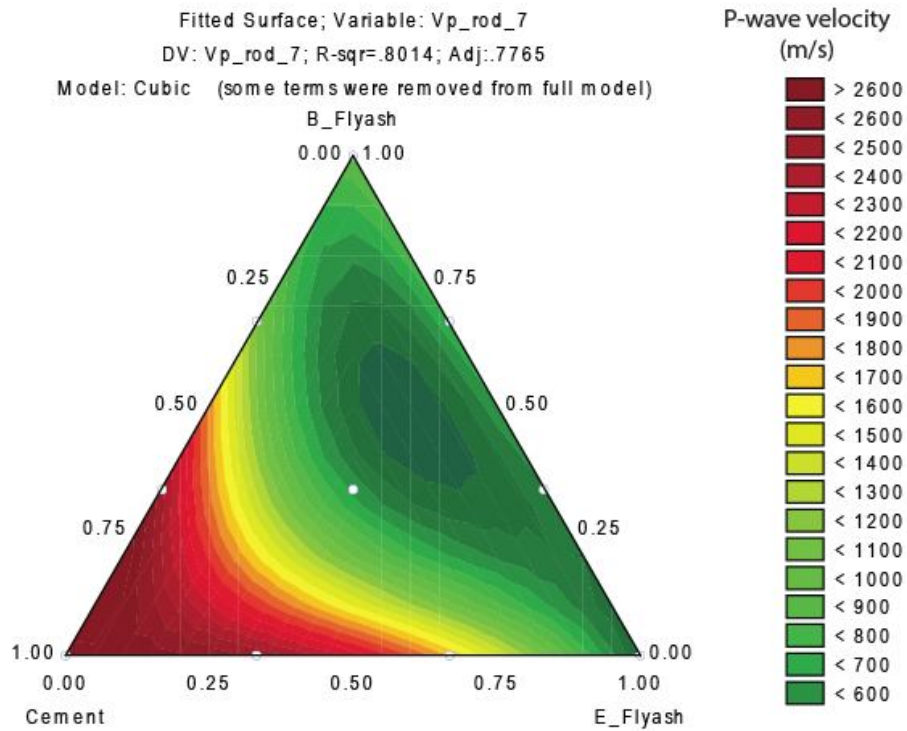
Figur 20. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för cement, energiaska och slagg.



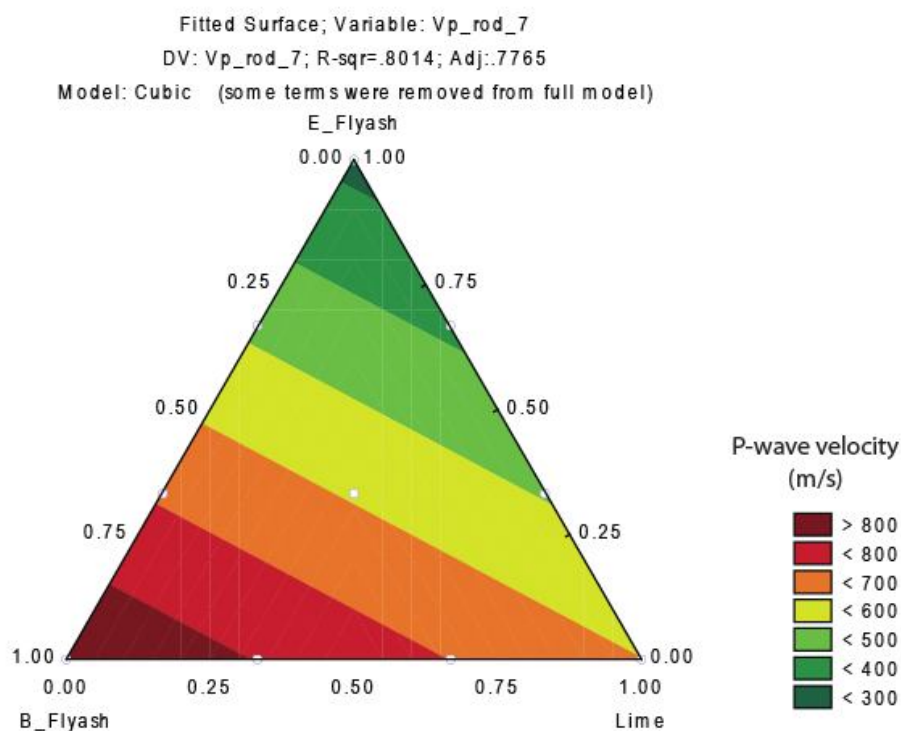
Figur 21. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för cement, kalk och slagg.



Figur 22. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för kalk, energiaska och slagg.



Figur 23. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för cement, kalk och slagg.



Figur 24. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn för bioaska, kalk och energiaska.

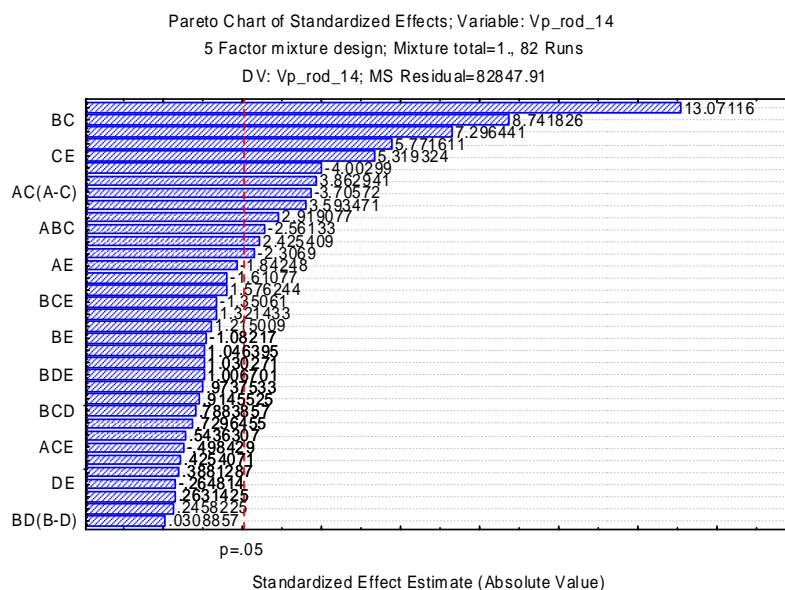
Figur 18 visar att cement, bioaska och en kombination av kalk och slagg ger störst bidrag till kompressionsvågshastigheten efter 7 dygn. Samspelet mellan kalk och slagg syns tydligt i figur 19 och i figur 22. Om inget samspel fanns skulle kompressionsvågshastigheten vara på samma nivå för de binära blandningarna av slagg och kalk. I figur 20 och figur 21 visas på ett svagt samspel mellan cement och energiaska. I figur 18 visas att effekten av ADE (cement, energiaska och bioaska) har ett negativt samspel, d.v.s. negativ inverkan på kompressionsvågshastigheten. Detta syns tydligt som en lågpunkt i figur 23.

Figur 24 visar enbart på linjära effekter med bioaska som ger störst bidrag och energiaska som ger lägst bidrag. Inga effekter av kalkens pH-höjande effekter kan ses efter 7 dygn.

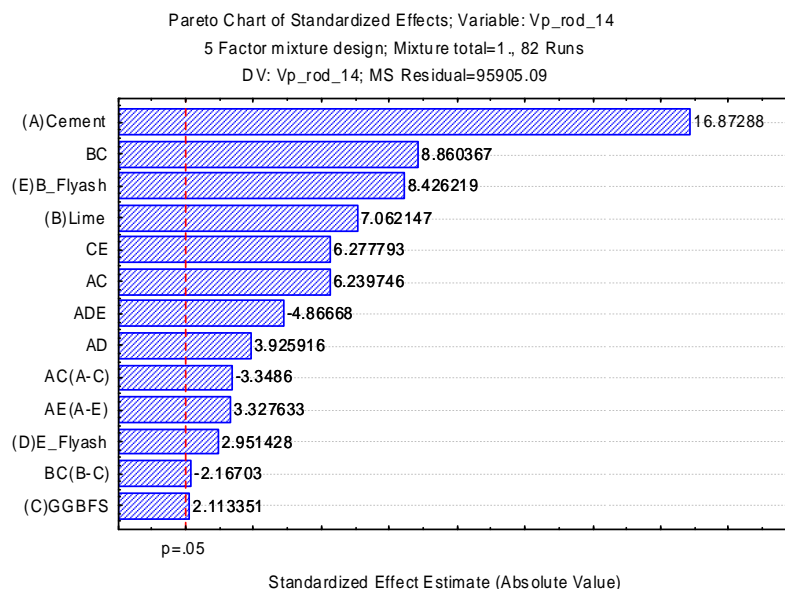
Värt att notera är att för figurerna 19 till 24 är förklaringsgraden 80 %, d.v.s. modellen förklarar 80 % av variationerna i resultaten, vilket kan anses som bra i detta sammanhang.

5.2 Seismikmätningar 14 dygn

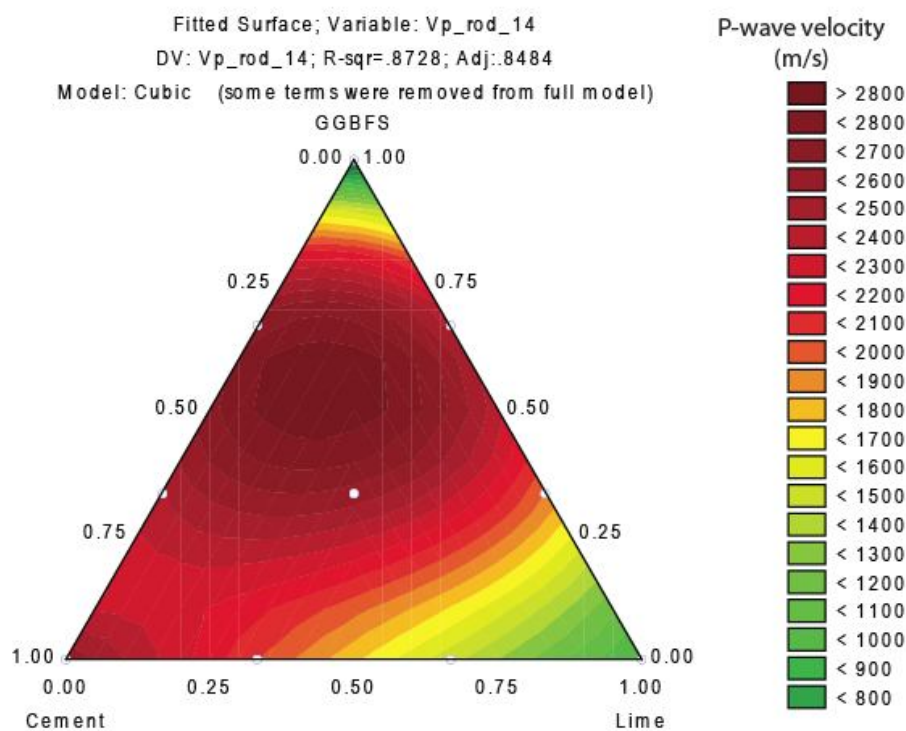
Dessa seismikmätningar är utförda 14 dygn efter tillverkning. Samma beteckningar som i kapitel 5.1 används



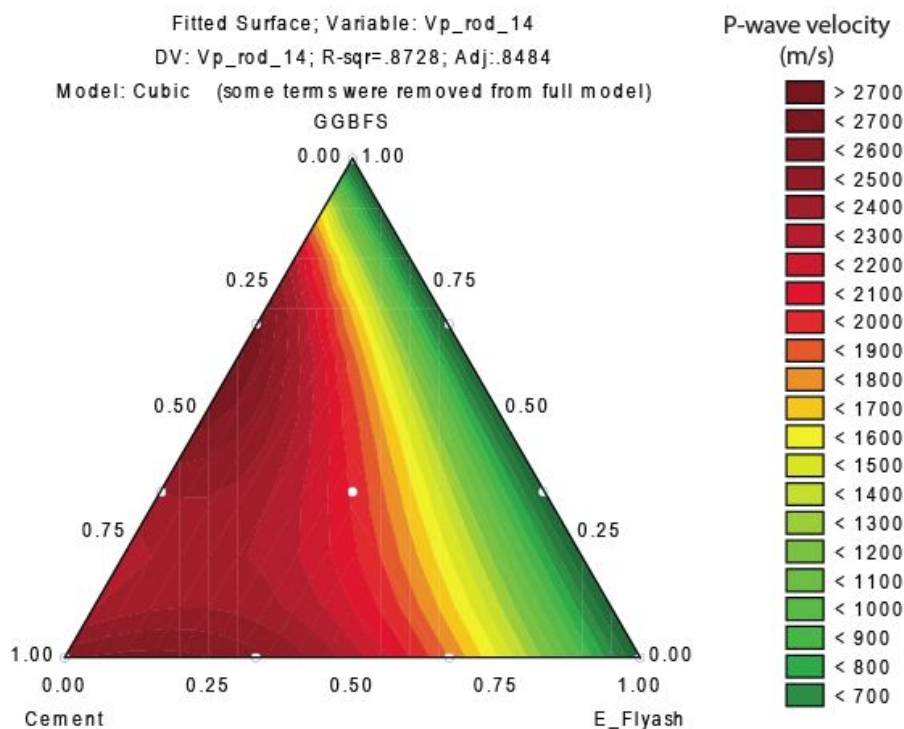
Figur 25. Paretdiagram över alla effekter som ingår i den kubiska modellen för 14 dygsmätningarna.



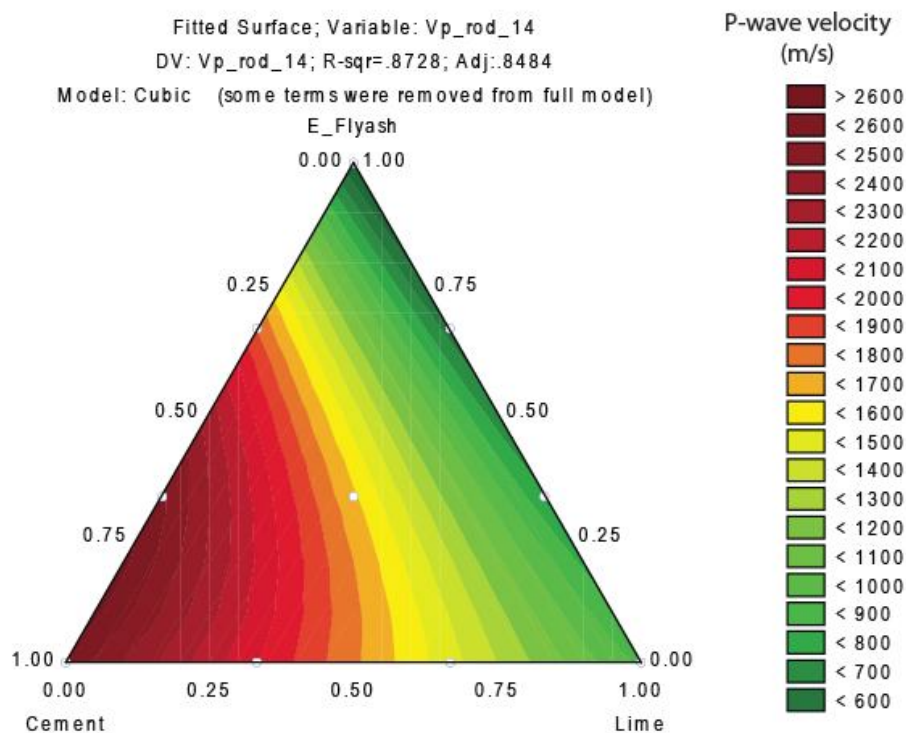
Figur 26. Paretdiagram över signifikanta effekter som ingår i den kubiska modellen för 14 dygsmätningarna.



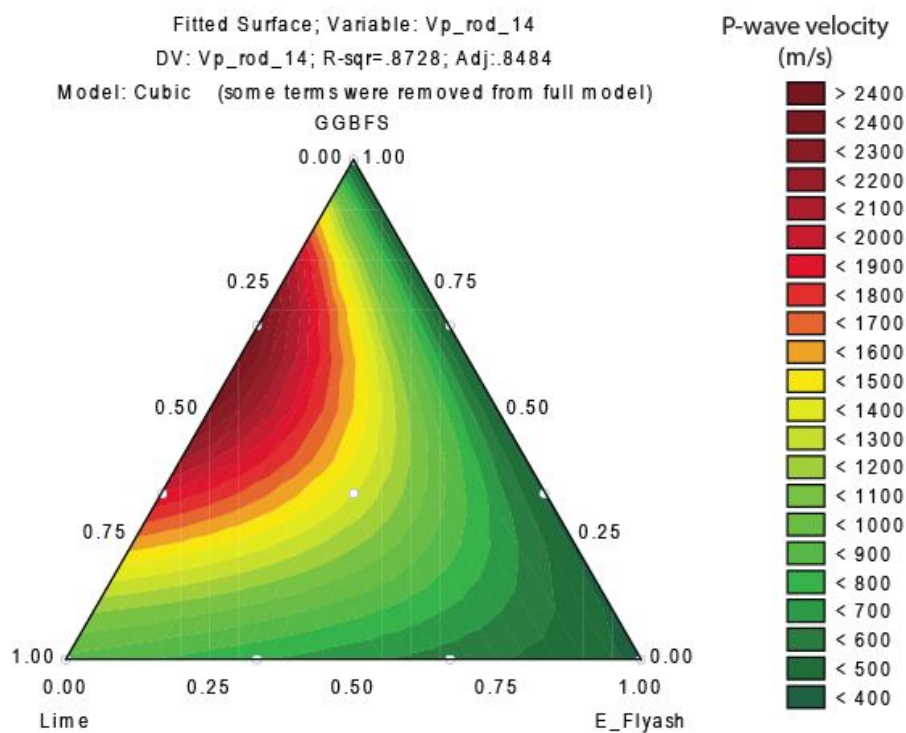
Figur 27. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för cement, kalk och slagg.



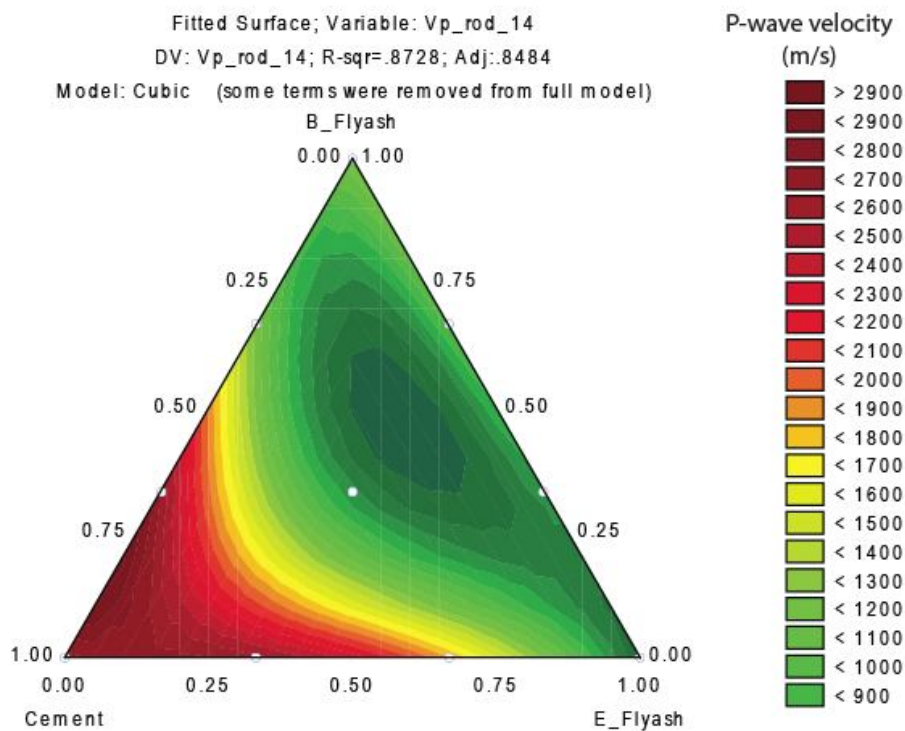
Figur 28. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för cement, energiaska och slagg.



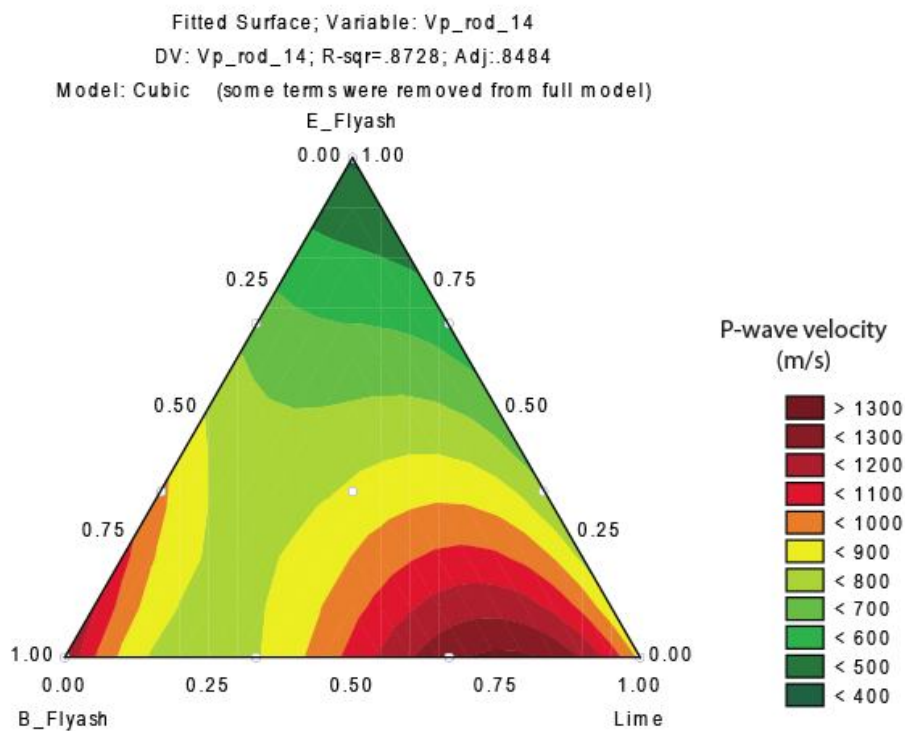
Figur 29. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för cement, kalk och energiaska.



Figur 30. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för kalk energiaska och slagg.



Figur 31. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för cement energiaska och bioaska.

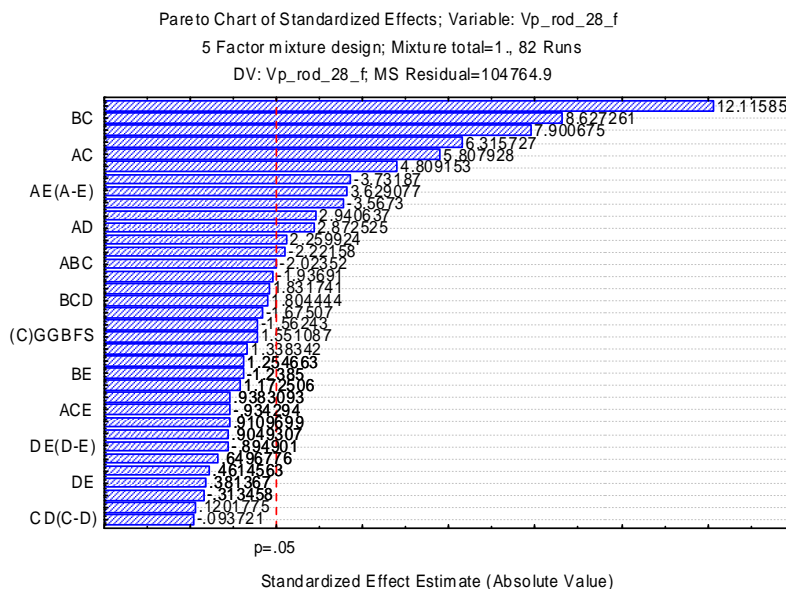


Figur 32. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 14 dygn för bioaska, kalk och energiaska.

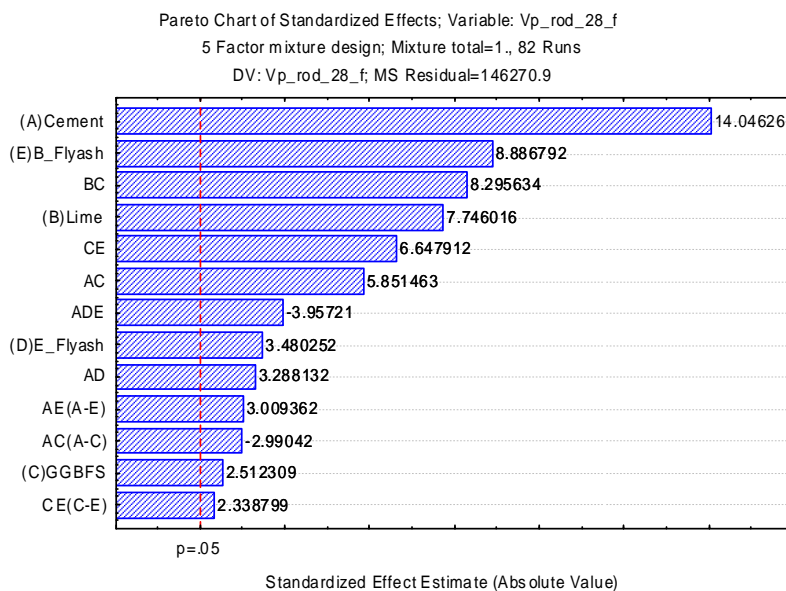
I figur 26 visas de signifikanta effekterna efter 14 dygns lagring. Cement är fortfarande den klart dominerande faktorn för kompressionsvågshastigheten men den har minskat något i betydelse. Samspelet mellan kalk och slagg (effekt, BC) har ökat i storlek och gått förbi bioaskan. Figur 27 visar det ökade samspelet mellan kalk och slagg. I figur 28 visas ett mindre samspel mellan cement och energiaska samt ett större samspel mellan cement och slagg. Samspelet mellan cement och energiaska visas även i figur 29. Figur 30 visar på samma samspel som figur 22 (7-dygns värde) men nu har samspelseffekterna förstärkts. Även figur 31 uppvisar samma mönster som i figur 23 (7-dygns värde), d.v.s. ett negativt bidrag från kombinationen ADE (cement/energiaska/bioaska). Figur 32 visar på samspelseffekter som varken kan påvisas efter 7 dygn (figur 24) eller efter 28 dygn (figur 40).

5.3 Seismikmätningar 28 dygn

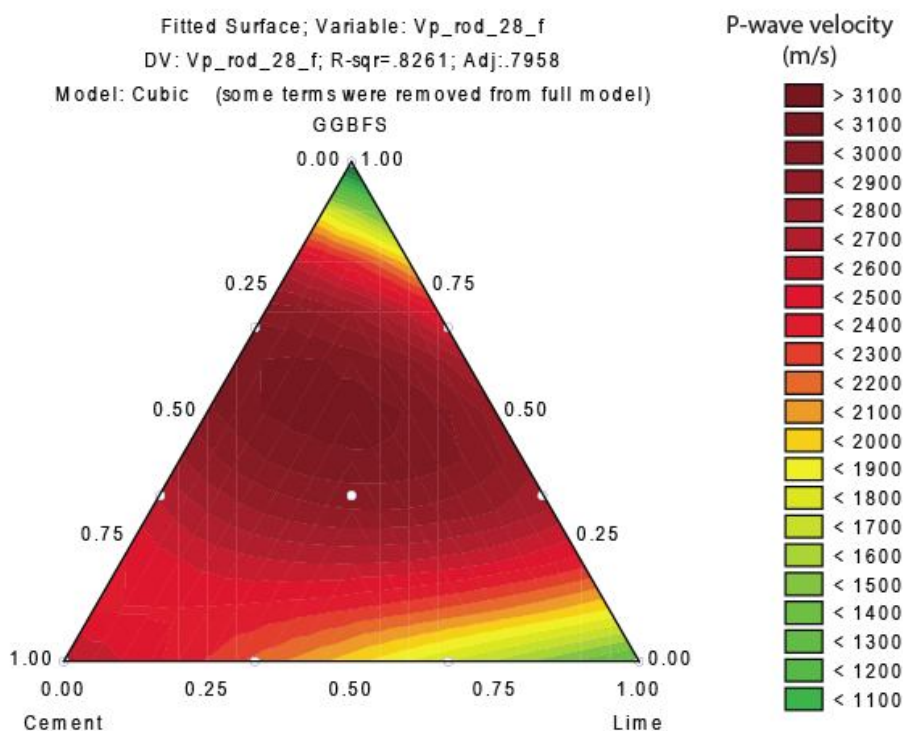
Kompressionsvågshastigheten efter 28 dygns lagring. Samma beteckningar som i kapitel 5.1 och 5.2 används.



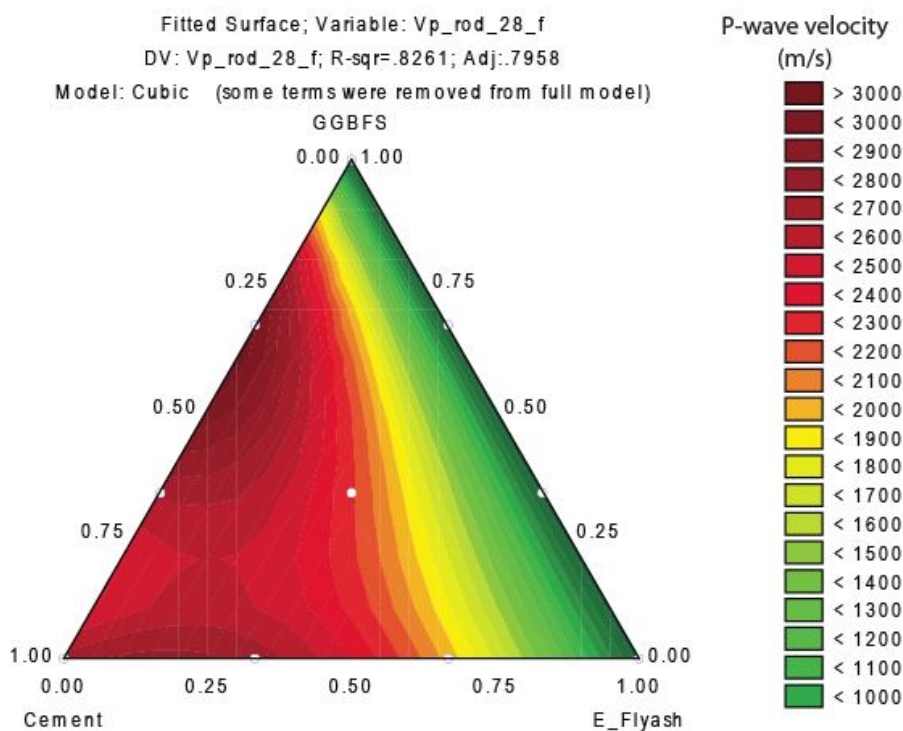
Figur 33. Paretdiagram över alla effekter som ingår i den kubiska modellen för 28 dygsmätningarna.



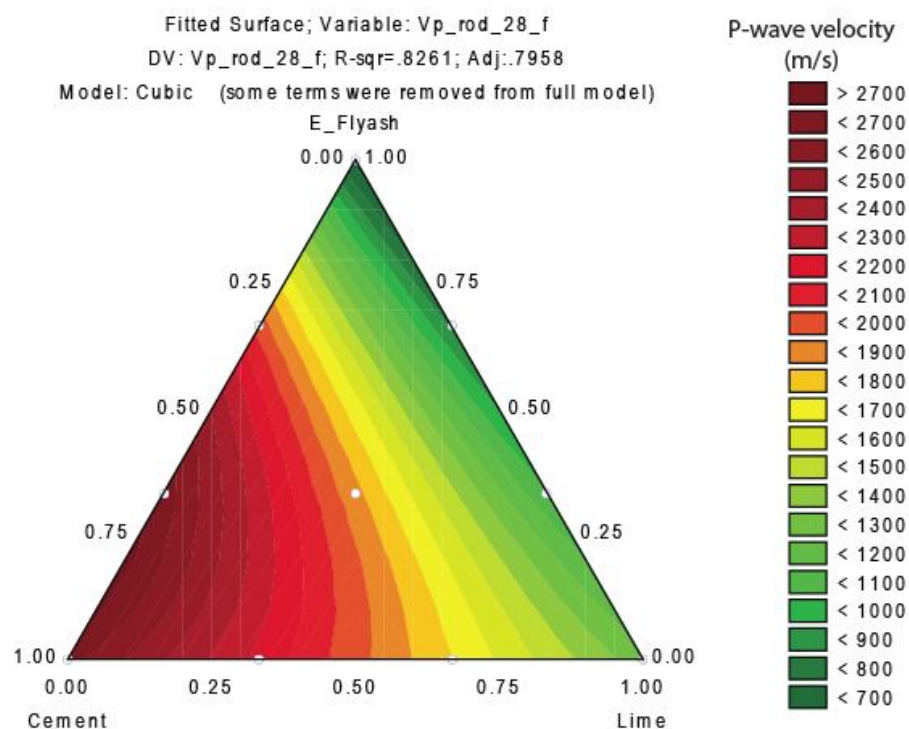
Figur 34. Paretdiagram över signifikanta effekter som ingår i den kubiska modellen för 28 dygsmätningarna.



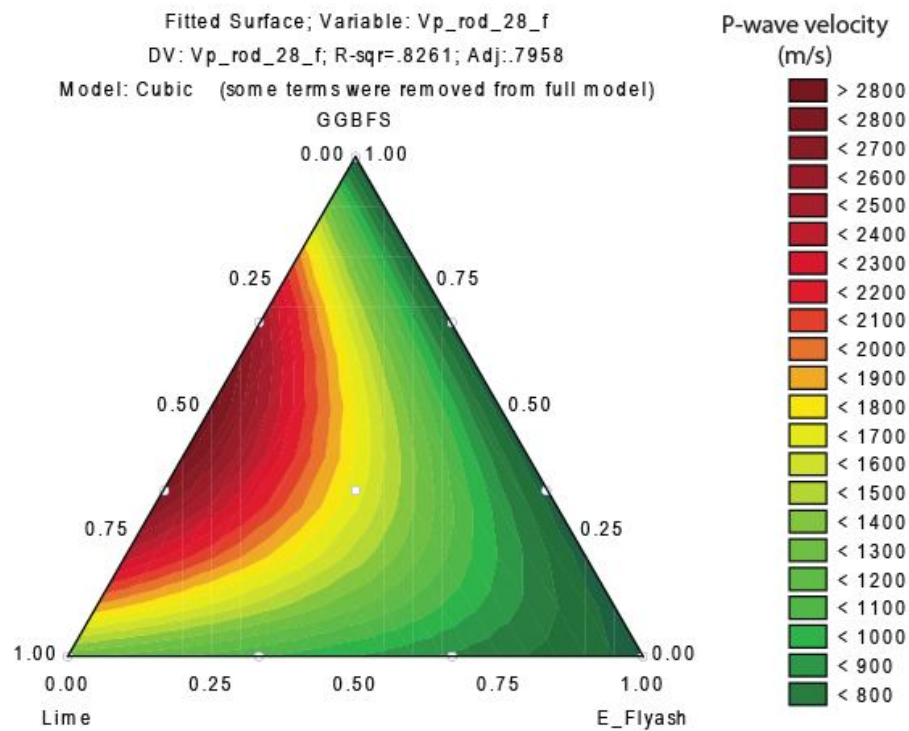
Figur 35. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för cement, kalk och slagg.



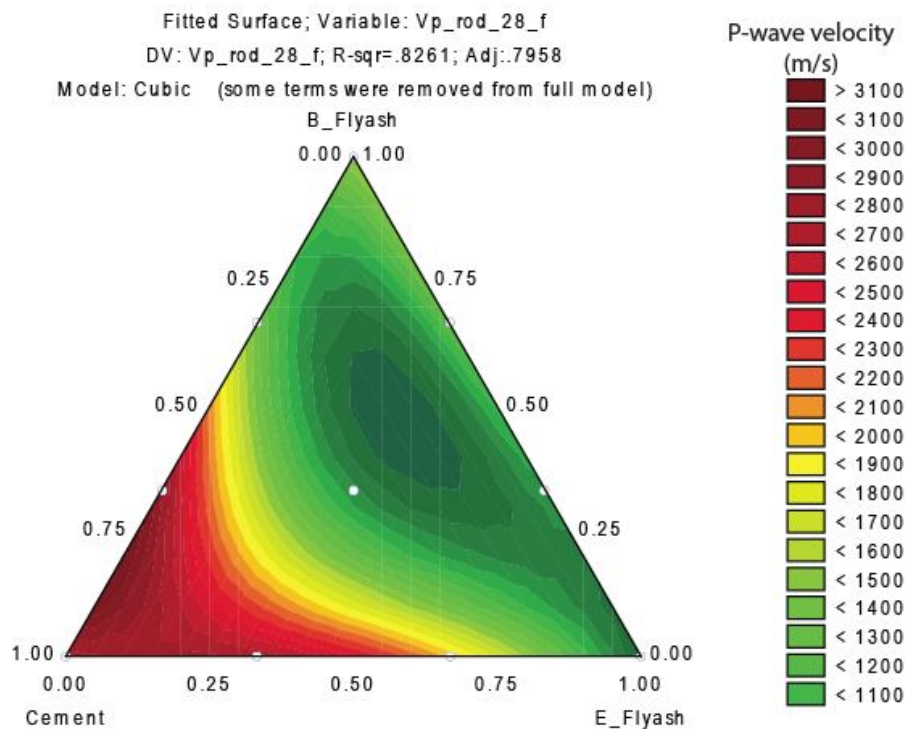
Figur 36. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för cement, energiaska och slagg.



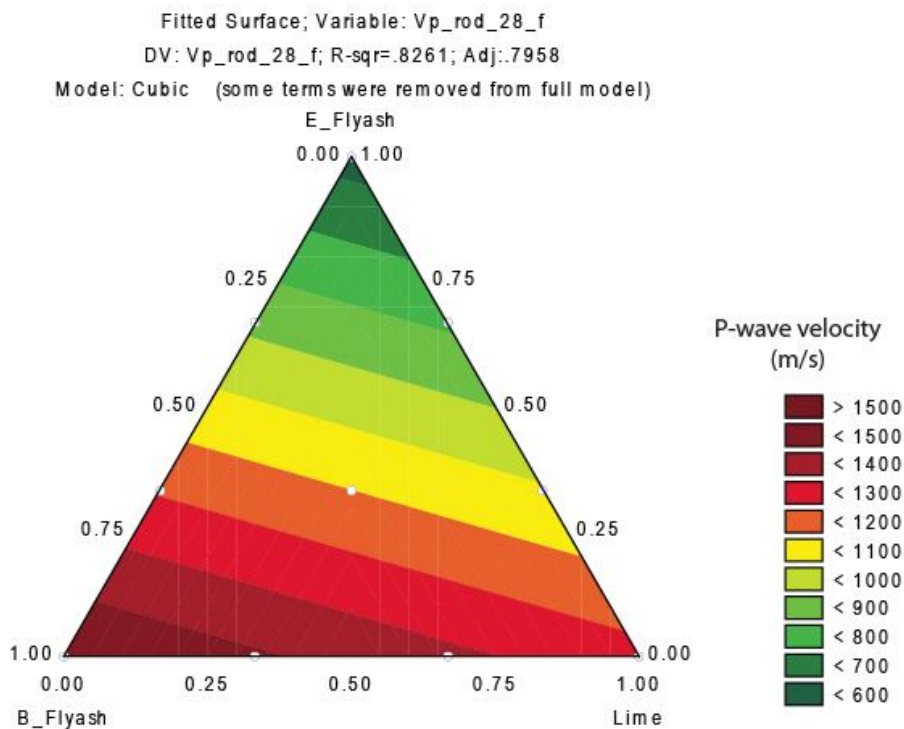
Figur 37. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för cement, kalk och energiaska.



Figur 38. Responsyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för kalk, energiaska och slagg.



Figur 39. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för cement, energiaska och bioaska.

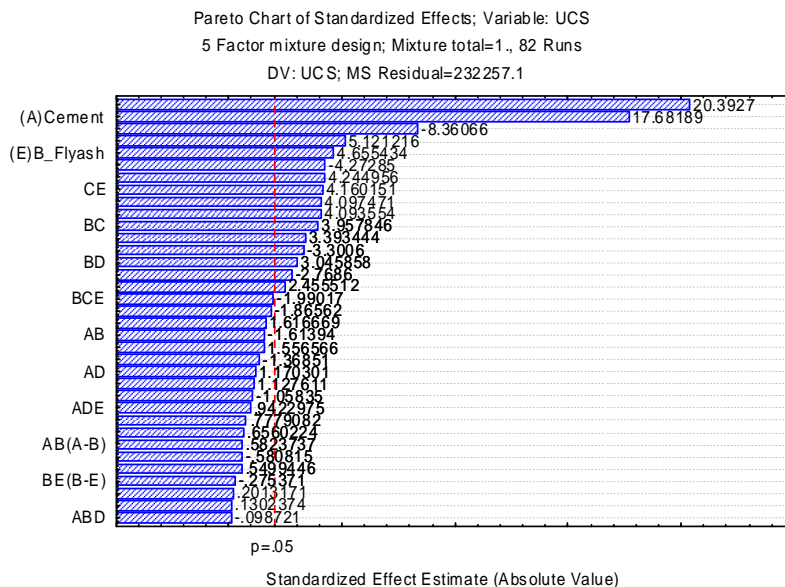


Figur 40. Responssyta över kompressionsvågshastigheten efter 28 dygn för cement, bioaska och energiaska.

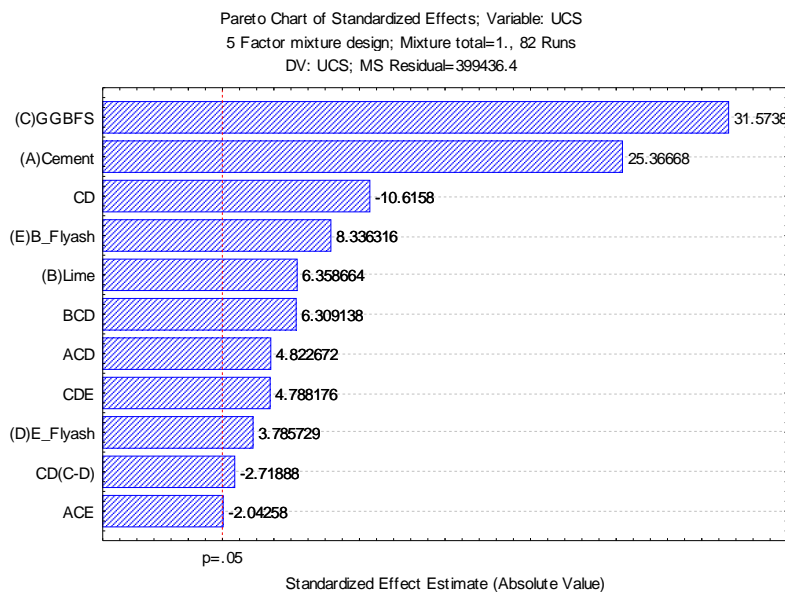
Även vid 28 dygns lagring är cement den dominerande faktorn vad gäller kompressionsvågshastighet. Bioaskan har gått om kalk/slagg-blandningen som följs av ren kalk, se figur 34 och figur 26. I figur 34 är det också värt att notera även de små effekterna av energiaska och slagg. Dessa effekter kan också ses i en sammanställningsfigur (figur 49), vilken kommer senare. I figur 35 visas samma mönster som för 7- och 14-dygns försöken. Även övriga responsytor uppvisar samma mönster vad gäller positiva och negativa samspel. Notera att i figur 40 finns enbart linjära effekter, jmf figur 24 och figur 32.

5.4 Enaxiell tryckhållfasthet

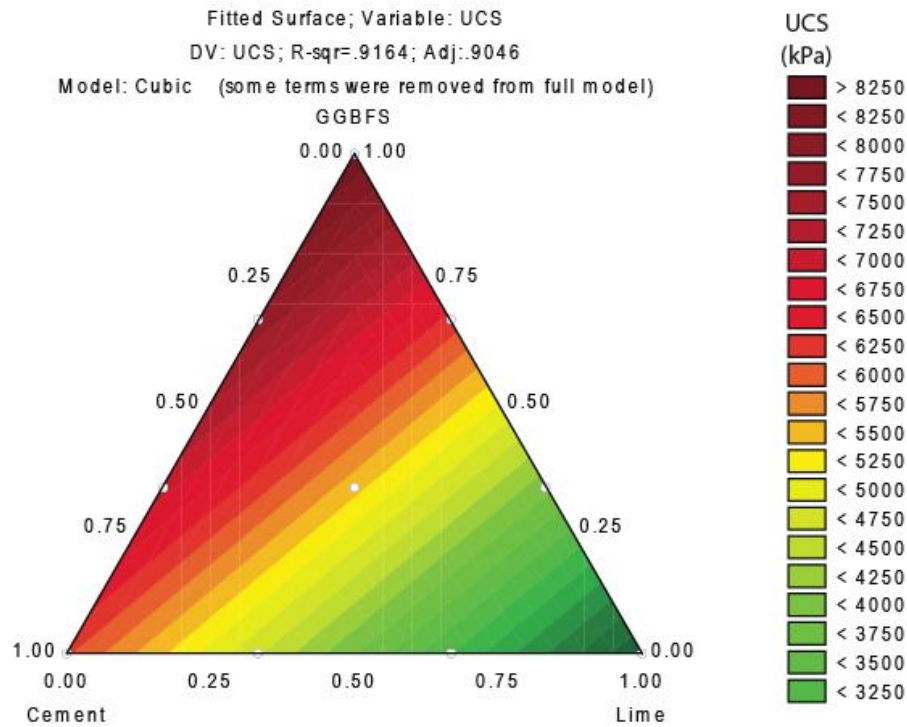
Resultaten från de enaxiella tryckförsöken redovisas nedan. Beteckningar i figurerna är samma som i kapitel 5.1 till 5.3.



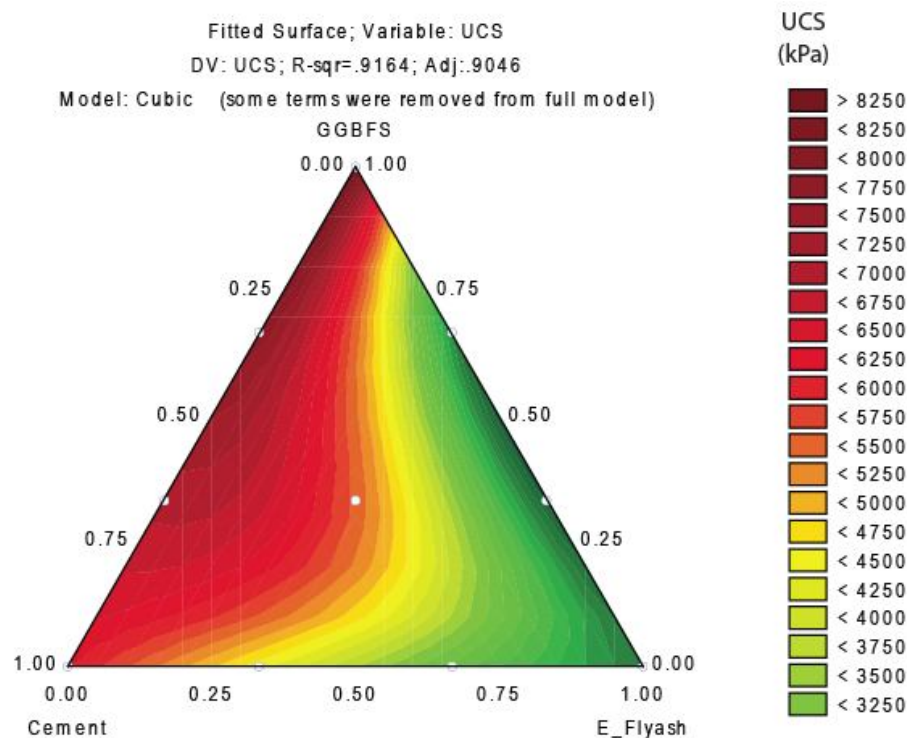
Figur 41. Paretdiagram över alla effekter som ingår i den kubiska modellen för 90 dygns tryckhållfasthet.



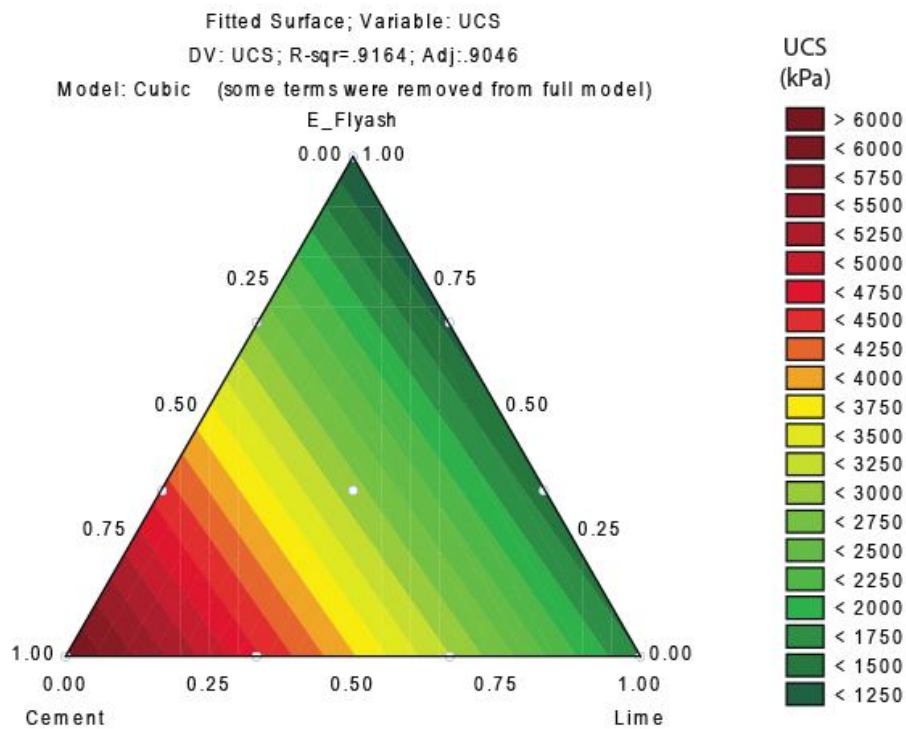
Figur 42. Paretdiagram över signifikanta effekter som ingår i den kubiska modellen för 90 dygns tryckhållfasthet.



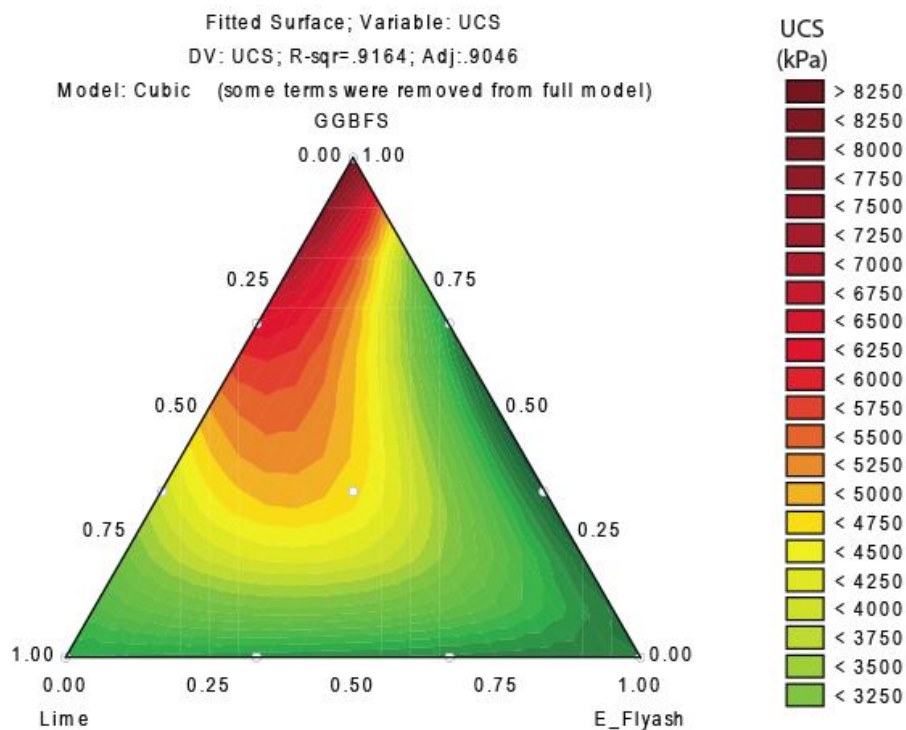
Figur 43. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för cement, kalk och slagg.



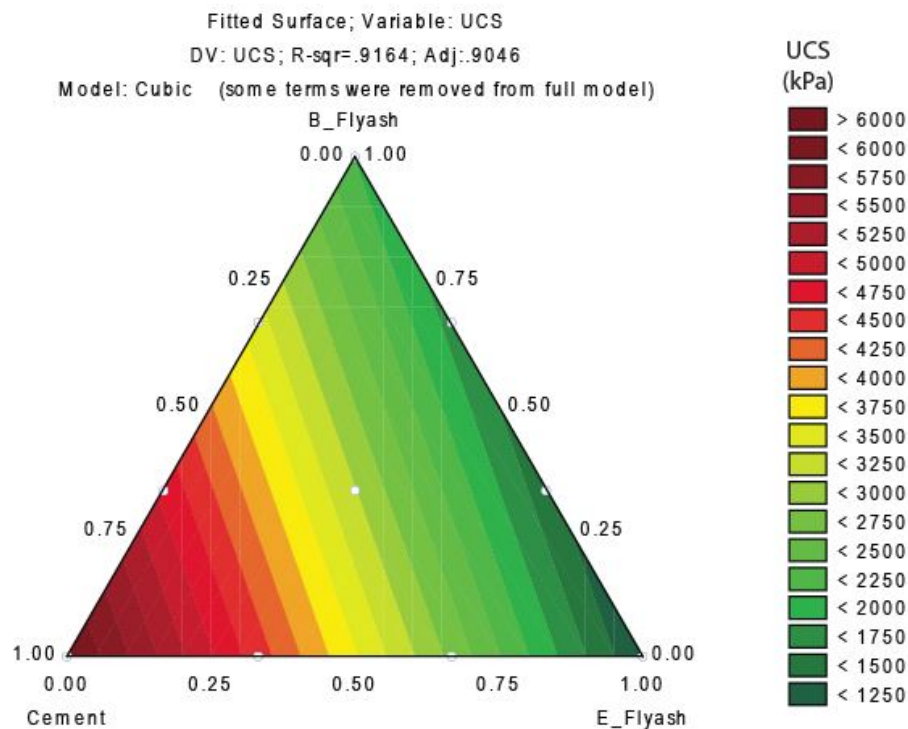
Figur 44. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för cement, energiaska och slagg.



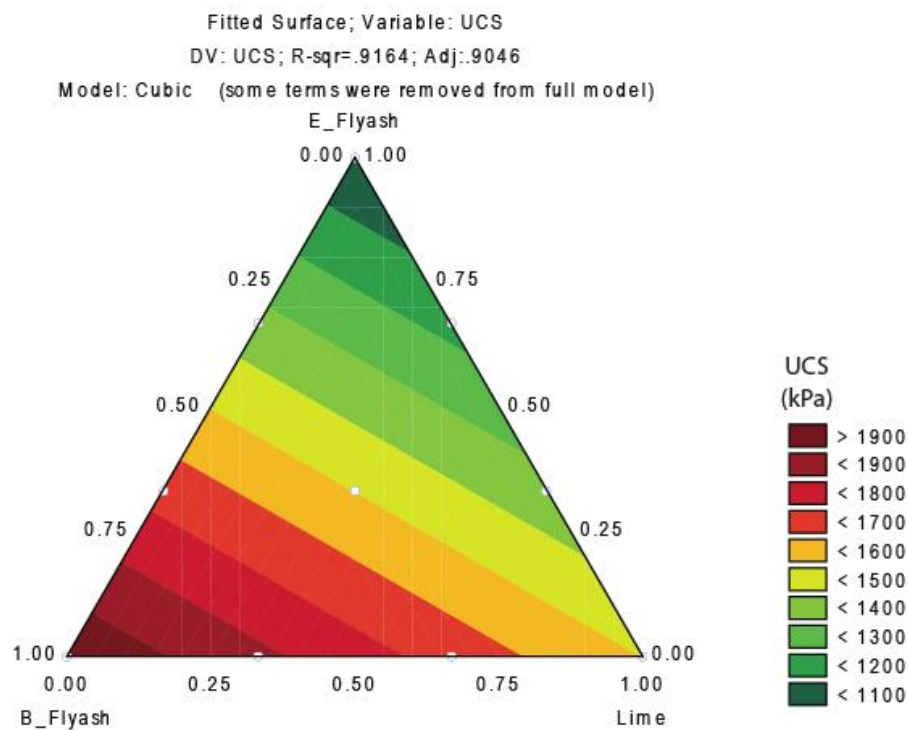
Figur 46. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för cement, kalk och energiaska.



Figur 45. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för kalk, energiaska och slagg.



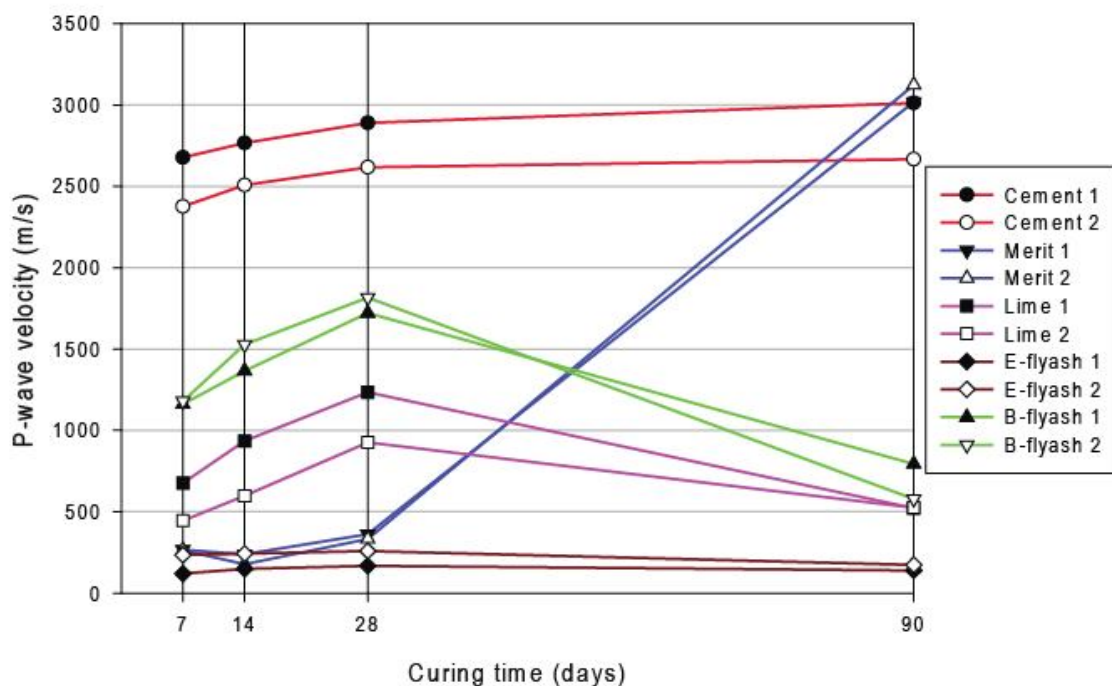
Figur 47. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för cement, energiaska och bioaska.



Figur 48. Responssyta över tryckhållfastheten efter 90 dygn för bioaska, kalk och energiaska.

Efter 90 dygns lagring kapades proverna till ett slankhetstal på 2 varefter plaströret avlägsnades. Figur 42 visar att slagg är den faktor som bidrar mest till tryckhållfastheten. Cement kommer på andra plats vad gäller hållfasthet. Kombinationen av slagg och energiaska har det största negativa inverkan på tryckhållfastheten. Responsytan i figur 43 visar på helt linjära effekter mellan cement, kalk och slagg. Notera att det markerade samspelet mellan kalk och slagg som kunde ses i seismikmätningarna (7, 14 och 28 dygnsvärdena) inte kan bekräftas för 90 dygnsvärden för hållfastheten. Kombinationen av kalk och slagg verkar ha en signifikant betydelse för härdningsförloppet men ingen effekt på sluthållfastheten. Dessa iakttagelser bekräftar tidigare studier på finkorniga moräner (Lindh, 2001). Studien från 2001 omfattade tre olika typer av finkorniga moräner varav de två med störst lerinnehåll uppvisade ett signifikant samspel mellan kalk och slagg. Den tredje finkorniga moränen med lägst lerinnehåll uppvisar samma mönster som uppvisas i figur 43. Detta indikerar att det bärlagergrus som använts i studien är inert och därför vällämpat att användas för att studera effekterna av olika bindemedel och deras interaktioner.

I figur 49 visas kompressionsvågshastigheten som funktion lagringstiden. För tolkningsbarheten visas enbart värdena för de provkroppar där endast en typ av bindemedel tillsatts.

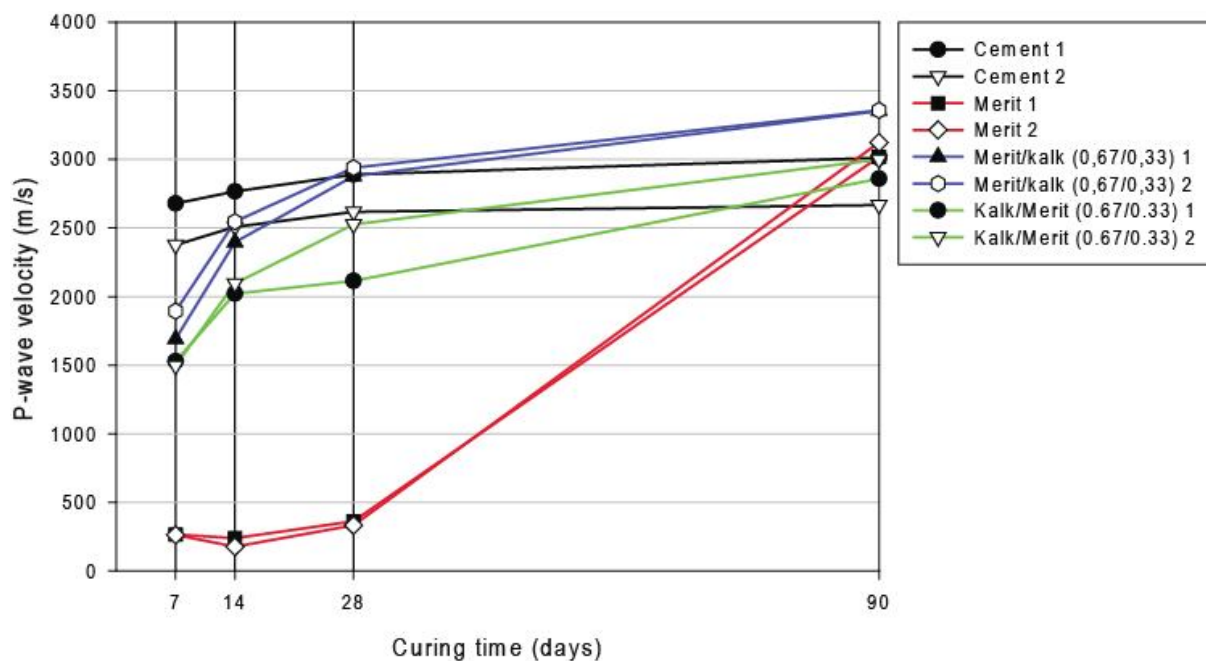


Figur 49. Kompressionsvågshastighet som funktion av lagringstid för de enkla bindemedlen.

Figuren visar på cementens effekt redan vid tidig ålder på provkroppen. Raset i kompressionsvågshastighet för kalk och bioaska mellan 28 och 90 dygn beror på störningar vid kapning och avformning. Denna störning har inte påverkat provkroppar med hög hållfasthet (cement och slagg), d.v.s. bindningen mellan kornen hos provkropparna stabiliserade med kalk, energiaska och bioaska har varit så små att de har brutits vid hanteringen. Figur 49 indikerar att kalk, energiaska och bioaska aktivt har bundit sammankornen och för de små töjningsnivåer som uppkommer i samband med de seismiska

mätningarna förblir bindningarna intakta emedan för de större töjningsnivåer som uppkommer vid kapning och avformning skadas bindningarna.

I figur 50 redovisas kompressionsvågshastigheten för cement (referens), slagg och de binära blandningarna slagg/kalk (0,67/0,33) och kalk/slagg (0,67/0,33). En jämförelse mellan slagg och de binära bindemedlen innehållande kalk och slagg visar på ett snabbare härdningsförlopp då slaggen kombineras med kalk.



Figur 50. Kompressionsvågshastighet som funktion av lagringstid för de enkla och binära bindemedlen.

I figur 50 visas att de båda binära bindemedlen kalk/slagg och slagg/kalk uppvisar en lika hög eller högre kompressionsvågshastighet vid 90 dygn som cement. Detta skall jämföras med tryckhållfasthetsvärdena redovisade i figur 43. Från figur 43 kan vi se att hållfasthetsmässigt är cement och slagg/kalk (0,67/0,33) likvärdiga emedan kalk/slagg (0,67/0,33) har en klart lägre hållfasthet. Detta fenomen kan ha orsakats av olinjäriteter hos det stabiliserade materialet, d.v.s. töjningsberoende styvhet.

5.5 Frys-tö-försök

Frys-tö-försöken visade på att alla de testade provkropparna hade hög frostbeständighet. Provkropparna innehållande mycket energi- eller bioaska höll dock inte ihop och kunde därför inte testas. Proverna som användes för frys-tö-försök var avkapade från den ursprungliga provkroppen i samband med de enaxiella tryckförsöken. De provkroppar som inte höll ihop kunde därför inte testas. Avskalningen var mellan 0,01 och 0,02 kg/m² för de testade proverna.

6. Slutsatser

Av de tre olika restprodukterna är det slaggen från Merox som fungerar klart bäst. Askorna fungerar dåligt i detta stabiliseringssammanhang. Energiaska har väldokumenterad effekt och kan härda på egen hand (Taylor, 1997). Denna studie visar dock att energiaskan inte fungerar som bindemedel i stabiliseringssammanhang. Detta resultat bör verifieras eller förkastas av andra.

En orsak till den dåliga responsen från askorna kan vara den låga bindemedelsmängden vilken skulle kunna vara under ett ännu ej dokumenterat tröskelvärde. Dock skulle en högre bindemedelsmängd göra användandet av produkten dyrare och i dagsläget inte aktuellt ur ett ekonomiskt perspektiv. I vissa fall kan andra skäl vara styrande och medföra att dessa askor används. Här bör dock även beständighetsfrågan beaktas.

Då bioaskan från SCA Lilla Edet uppvisar dåliga resultat kan detta bero på karbonatisering av bindemedlet, d.v.s. kalken i askan har reagerat med koldioxid i luften och där har bildats kalciumkarbonat (jmf. kalksten) som är inert. Opublicerade studier gjorda av Peab har visat på bättre effekt hos en blandning av kalk och bioaska i samband med stabilisering av en lerjord. På frågan varför energiaskan enbart fungerar som en inert filler i denna studie finns inget entydigt svar. Som ovan nämns kan en orsak vara att där finns ett tröskelvärde på vbt (vatten bindemedelstalet, jmf. vct).

Om askor skall användas i större projekt bör tillgången på ”färsk” aska säkerställas för att minimera variationerna i den stabiliserade väggroppen.

Cement och kalk är de traditionella bindemedlen i stabiliseringssammanhang där kalken behöver lermineral eller luft (koldioxid) för att en härdningsprocess skall kunna äga rum. Då denna studie enbart har omfattat en inert ballast och lagring utan tillgång till luft har kalkens effekter varit begränsade. Ren kalk (bränd eller släckt) lämpar sig bäst för finkorniga jordar innehållande lermineral. Slagg brukar betecknas som en bindemedelskomponent som kräver aktivering (högt pH) för att reagera (Sherwood, 1993). Slaggen i denna studie är mycket finmald och har hydrauliska egenskaper (härdar under vatten) utan aktivering. Detta är observerat i tidigare studier (Lindh, 2000). Däremot har slaggen en alltför långsam härdningsprocess för att det skall vara praktiskt att använda i reella projekt. Kombinationen mellan slagg och kalk eller slagg och cement påskyndar härdningsförloppet och ger en bra och beständig produkt.

Provkroppar stabiliserade med cement, cement/slagg och kalk/slagg är beständiga mot frys-tö-cykler under förutsättning att det inte sker en kontinuerlig vatteninträngning. Vid frys-tö försöken tillsattes inget extra vatten.

I kapitel 3 redogjordes för problem med att tillverka provkroppar utan yttre och inre oönskad porstruktur. Utrustningen är från början framtagen för att pack in finkorniga moräner som stabiliserats. För dessa tillämpningar fungerar utrustningen mycket bra. För inpackning av stabiliserad bärlagergrus fungerar utrustningen tillfredställande men problematiken med porstrukturer måste beaktas. Här gäller det att minska separationen samt att få till en bra kratsning mellan skikten. Eventuellt kan provkropparna tillverkas i två skikt.

7. Rekommendationer

Förutom den generella rekommendationen att verifiera eller förkasta delar av denna studie så finns nedan en lista med olika fortsättningar för att öka kunskapen om stabiliserat material.

- Utmattningsförsök på stabiliserat material, jmf asfalt.
- Undersökning av olinjäritet hos materialet (töjningsberoende styvhet)
- Sambandet mellan seismik, E-modul och hållfasthet hos stabiliserat material
- Förbättring av provkroppstillverkningen

8. Referenser

Assarson, K. G., 1968, Stabilisering av kohesionära jordarter med kalk. Norsk Vegtidsskrift nr 2, pp 2-16.

ASTM C 215-02, (2002), Standard test method for fundamental transverse, longitudinal, and torsional frequencies of concrete specimens, American Society for Testing and Materials (ASTM).

Auststab 1999, www.auststab.com.au

Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J. S., 1978 statistics for Experimenters, Wiley. ISBN 0-471-09315-7.

Lindh, P., 2000, Soil stabilization of fine-grained till soils, Report TVGT – 1008. Lund University.

Lindh, P., 2001, Optimizing binder blends for shallow stabilisation of fine-grained soils. Ground Improvement, vol 5, pp 23-34.

Lindh, P., 2004, Compaction- and strength properties of stabilized and unstabilised fine-grained tills. ISBN 91-973723-5-8. PhD Thesis Lund University, 2004.

Montgomery, D.C., 1997, Design and analysis of experiments. Wiley & Sons, INC. ISBN 0-471-15746-5.

Myers, R. H. och Montgomery, D. C., 1995, Response Surface Methodology. Process and Product Optimization Using Designed Experiments. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-58100-3.

Ryden, N., Ekdahl, U., Lindh, P., 2006, Quality Control of Cement Stabilised Soil Using Non-destructive Seismic Tests, Proceedings Advanced Testing of Fresh Cementitious Materials, Stuttgart, Germany, August 3-4, DGZfP-Proceedings BB 102-CD, Lecture 34, pp 1-5.

Sherwood, P., 1993, Soil Stabilization with Cement and Lime, TRL, HMSO.

SS-EN 13286-41, 2003, Obundna och hydrauliskt bundna vägmateriäl - Del 41: Provningsmetod för bestämning av tryckhållfastheten för hydrauliskt bundna materiäl, SIS.

SS-EN 137244: 2005, Betongprovning - Hårdnad betong - Avflagning vid frysning, SIS.

Taylor. H. F. W., 1997, Cement Chemistry, Thomas Telford. ISBN 0-7277-2592-0.

Appendix A

Tabell 2. Schema över recepten för respektive provkropp. Replicat 2 är dubbelförsök.

Prov nr	Replicat	Binder 1 Cement	Binder 2 Lime	Binder 3 Slag	Binder 4 Flyash_1	Binder 5 Flyash_2
39	1	0.100000	0.100000	0.100000	0.600000	0.100000
65	2	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	0.333333
82	2	0.200000	0.200000	0.200000	0.200000	0.200000
37	1	0.100000	0.600000	0.100000	0.100000	0.100000
49	2	0.333333	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000
35	1	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.333333
73	2	0.000000	0.333333	0.333333	0.333333	0.000000
68	2	0.333333	0.333333	0.000000	0.333333	0.000000
76	2	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333	0.333333
16	1	0.666667	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000
15	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.666667
41	1	0.200000	0.200000	0.200000	0.200000	0.200000
66	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667	0.333333
67	2	0.333333	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
42	2	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
50	2	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667
38	1	0.100000	0.100000	0.600000	0.100000	0.100000
6	1	0.333333	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000
69	2	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333
54	2	0.000000	0.000000	0.333333	0.666667	0.000000
32	1	0.000000	0.333333	0.333333	0.333333	0.000000
80	2	0.100000	0.100000	0.100000	0.600000	0.100000
8	1	0.333333	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000
45	2	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000
36	1	0.600000	0.100000	0.100000	0.100000	0.100000
24	1	0.000000	0.000000	0.666667	0.000000	0.333333
27	1	0.333333	0.333333	0.000000	0.333333	0.000000
48	2	0.333333	0.000000	0.666667	0.000000	0.000000
56	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333	0.666667
64	2	0.000000	0.000000	0.666667	0.333333	0.000000
26	1	0.333333	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000
47	2	0.333333	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000
77	2	0.600000	0.100000	0.100000	0.100000	0.100000
7	1	0.333333	0.000000	0.666667	0.000000	0.000000
25	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667	0.333333
62	2	0.000000	0.666667	0.000000	0.333333	0.000000
12	1	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.666667
60	2	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333
23	1	0.000000	0.000000	0.666667	0.333333	0.000000
75	2	0.000000	0.333333	0.000000	0.333333	0.333333
30	1	0.333333	0.000000	0.333333	0.000000	0.333333
28	1	0.333333	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333
29	1	0.333333	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000
71	2	0.333333	0.000000	0.333333	0.000000	0.333333
33	1	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.333333
11	1	0.000000	0.333333	0.000000	0.666667	0.000000
79	2	0.100000	0.100000	0.600000	0.100000	0.100000

13	1	0.000000	0.000000	0.333333	0.666667	0.000000
61	2	0.000000	0.666667	0.333333	0.000000	0.000000
19	1	0.666667	0.000000	0.000000	0.000000	0.333333
17	1	0.666667	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000
63	2	0.000000	0.666667	0.000000	0.000000	0.333333
81	2	0.100000	0.100000	0.100000	0.100000	0.600000
31	1	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333
44	2	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000
53	2	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000	0.666667
2	1	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	1	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000
9	1	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000	0.666667
46	2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
57	2	0.666667	0.333333	0.000000	0.000000	0.000000
43	2	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000
1	1	1.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
22	1	0.000000	0.666667	0.000000	0.000000	0.333333
5	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
40	1	0.100000	0.100000	0.100000	0.100000	0.600000
18	1	0.666667	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000
21	1	0.000000	0.666667	0.000000	0.333333	0.000000
58	2	0.666667	0.000000	0.333333	0.000000	0.000000
72	2	0.333333	0.000000	0.000000	0.333333	0.333333
55	2	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.666667
51	2	0.000000	0.333333	0.666667	0.000000	0.000000
20	1	0.000000	0.666667	0.333333	0.000000	0.000000
78	2	0.100000	0.600000	0.100000	0.100000	0.100000
4	1	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000
34	1	0.000000	0.333333	0.000000	0.333333	0.333333
14	1	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000	0.666667
52	2	0.000000	0.333333	0.000000	0.666667	0.000000
74	2	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000	0.333333
70	2	0.333333	0.000000	0.333333	0.333333	0.000000
10	1	0.000000	0.333333	0.666667	0.000000	0.000000
59	2	0.666667	0.000000	0.000000	0.333333	0.000000

Appendix B

Tabell 3. Effekter baserade på 7-dygnsdata från kompressionsvågsmätningarna. Alla faktorerna som ingår i den kubiska modellen. De rödmarkerade värdena visar på en signifikansnivå under $p=0,05$.

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_7; R-sqr=.8806; Adj.:.7942 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_7; MS Residual=95430.29					
	Coeff.	Std.Err.	t(47)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2538.3	217.223	11.68544	0.000000	2101.4	2975.35
(B)Lime	563.5	217.223	2.59394	0.012613	126.5	1000.46
(C)GGBFS	277.5	217.223	1.27759	0.207668	-159.5	714.52
(D)E_Flyash	174.4	217.223	0.80280	0.426134	-262.6	611.38
(E)B_Flyash	1192.9	217.223	5.49141	0.000002	755.9	1629.86
AB	730.2	972.388	0.75095	0.456429	-1226.0	2686.40
AC	1345.3	972.388	1.38346	0.173061	-610.9	3301.45
AD	2408.8	972.388	2.47718	0.016896	452.6	4364.97
AE	-1599.1	972.388	-1.64453	0.106740	-3555.3	357.07
BC	5474.4	972.388	5.62986	0.000001	3518.2	7430.60
BD	108.9	972.388	0.11203	0.911278	-1847.3	2065.13
BE	-962.7	972.388	-0.99003	0.327230	-2918.9	993.50
CD	-18.4	972.388	-0.01892	0.984982	-1974.6	1937.79
CE	2453.1	972.388	2.52278	0.015086	496.9	4409.31
DE	-201.2	972.388	-0.20692	0.836967	-2157.4	1754.99
ABC	-7209.2	6848.162	-1.05272	0.297852	-20985.9	6567.54
ABD	4591.6	6848.162	0.67049	0.505827	-9185.1	18368.35
ABE	5768.0	6848.162	0.84227	0.403902	-8008.7	19544.73
ACD	13776.3	6848.162	2.01168	0.050007	-0.4	27553.01
ACE	5997.5	6848.162	0.87578	0.385601	-7779.2	19774.24
ADE	-23505.9	6848.162	-3.43244	0.001257	-37282.6	-9729.20
BCD	-3246.1	6848.162	-0.47402	0.637683	-17022.9	10530.59
BCE	-13506.6	6848.162	-1.97230	0.054476	-27283.3	270.12
BDE	5566.1	6848.162	0.81279	0.420437	-8210.6	19342.84
CDE	407.6	6848.162	0.05952	0.952793	-13369.1	14184.31
AB(A-B)	1814.7	2064.817	0.87886	0.383951	-2339.2	5968.55
AC(A-C)	1048.7	2064.817	0.50789	0.613907	-3105.2	5202.57
AD(A-D)	-3526.9	2064.817	-1.70809	0.094218	-7680.8	626.99
AE(A-E)	5648.6	2064.817	2.73563	0.008756	1494.7	9802.45
BC(B-C)	-2271.6	2064.817	-1.10012	0.276881	-6425.4	1882.32
BD(B-D)	-265.0	2064.817	-0.12835	0.898421	-4418.9	3888.86
BE(B-E)	3986.1	2064.817	1.93050	0.059591	-167.7	8140.01
CD(C-D)	-277.3	2064.817	-0.13429	0.893750	-4431.2	3876.60
CE(C-E)	75.9	2064.817	0.03677	0.970822	-4077.9	4229.81
DE(D-E)	528.2	2064.817	0.25583	0.799196	-3625.6	4682.13

Tabell 4. Tabellen visar de kvarvarande signifikanta effekterna efter "backward elimination".

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_7; R-sqr=.8014; Adj.:7765 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_7; MS Residual=103610.4					
	Coeff.	Std.Err.	t(72)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2643.3	138.311	19.11103	0.000000	2367.6	2919.0
(B)Lime	601.7	133.783	4.49725	0.000026	335.0	868.4
(C)GGBFS	497.6	152.147	3.27048	0.001649	194.3	800.9
(D)E_Flyash	272.1	134.969	2.01612	0.047519	3.1	541.2
(E)B_Flyash	893.4	139.921	6.38482	0.000000	614.4	1172.3
AD	2789.3	809.587	3.44535	0.000955	1175.4	4403.2
BC	4311.8	788.740	5.46665	0.000001	2739.4	5884.1
CE	2368.8	790.947	2.99492	0.003762	792.1	3945.5
ADE	-27704.7	6364.530	-4.35298	0.000044	-40392.1	-15017.2
AE(A-E)	5213.9	2104.584	2.47741	0.015582	1018.5	9409.3

Tabell 5. Effekter baserade på 14-dygnsdata från kompressionsvågsmätningarna. Alla faktorerna som ingår I den kubiska modellen. De rödmarkerade värdena visar på en signifikansnivå under p=0,05.

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_14; R-sqr=.9207; Adj.:8633 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_14; MS Residual=82847.91					
	Coeff.	Std.Err.	t(47)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2645.6	202.397	13.07116	0.000000	2238.4	3052.7
(B)Lime	781.8	202.397	3.86294	0.000342	374.7	1189.0
(C)GGBFS	208.5	202.397	1.03027	0.308156	-198.6	615.7
(D)E_Flyash	211.8	202.397	1.04639	0.300731	-195.4	619.0
(E)B_Flyash	1476.8	202.397	7.29644	0.000000	1069.6	1883.9
AB	828.6	906.019	0.91455	0.365095	-994.1	2651.3
AC	5229.2	906.019	5.77161	0.000001	3406.5	7051.9
AD	2644.7	906.019	2.91908	0.005374	822.1	4467.4
AE	-1669.3	906.019	-1.84248	0.071717	-3492.0	153.4
BC	7920.3	906.019	8.74183	0.000000	6097.6	9742.9
BD	351.7	906.019	0.38813	0.699673	-1471.0	2174.3
BE	-980.5	906.019	-1.08217	0.284699	-2803.1	842.2
CD	238.4	906.019	0.26314	0.793591	-1584.3	2061.1
CE	4819.4	906.019	5.31932	0.000003	2996.7	6642.1
DE	-239.9	906.019	-0.26481	0.792311	-2062.6	1582.7
ABC	-16343.2	6380.749	-2.56133	0.013696	-29179.6	-3506.8
ABD	4655.7	6380.749	0.72965	0.469228	-8180.7	17492.1
ABE	7752.7	6380.749	1.21501	0.230431	-5083.7	20589.1
ACD	10057.6	6380.749	1.57624	0.121677	-2778.8	22894.0
ACE	-3180.4	6380.749	-0.49843	0.620506	-16016.8	9656.1
ADE	-25542.1	6380.749	-4.00299	0.000221	-38378.5	-12705.7
BCD	5030.5	6380.749	0.78839	0.434430	-7805.9	17866.9
BCE	-8617.9	6380.749	-1.35061	0.183289	-21454.3	4218.5
BDE	6423.5	6380.749	1.00670	0.319233	-6412.9	19259.9
CDE	3468.8	6380.749	0.54363	0.589265	-9367.6	16305.2
AB(A-B)	1873.4	1923.886	0.97375	0.335164	-1997.0	5743.7
AC(A-C)	-7129.4	1923.886	-3.70572	0.000555	-10999.7	-3259.0
AD(A-D)	-3098.9	1923.886	-1.61077	0.113926	-6969.3	771.4
AE(A-E)	6913.4	1923.886	3.59347	0.000779	3043.1	10783.8
BC(B-C)	-4438.2	1923.886	-2.30690	0.025515	-8308.6	-567.8
BD(B-D)	59.4	1923.886	0.03089	0.975491	-3810.9	3929.8
BE(B-E)	4666.2	1923.886	2.42541	0.019186	795.9	8536.6
CD(C-D)	472.9	1923.886	0.24582	0.806890	-3397.4	4343.3
CE(C-E)	2542.3	1923.886	1.32143	0.192754	-1328.1	6412.6
DE(D-E)	818.4	1923.886	0.42541	0.672482	-3051.9	4688.8

Tabell 6. Tabellen visar de kvarvarande signifikanta effekterna efter "backward elimination".

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_14; R-sqr=.8728; Adj.:.8484 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_14; MS Residual=91875.45					
	Coeff.	Std.Err.	t(68)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2572.1	149.090	17.25165	0.000000	2274.6	2869.6
(B)Lime	872.6	131.407	6.64061	0.000000	610.4	1134.8
(C)GGBFS	362.3	168.836	2.14575	0.035465	25.4	699.2
(D)E_Flyash	385.0	127.497	3.01993	0.003559	130.6	639.4
(E)B_Flyash	1192.2	134.910	8.83687	0.000000	923.0	1461.4
AC	4811.3	754.640	6.37562	0.000000	3305.4	6317.2
AD	3085.3	768.942	4.01236	0.000152	1550.9	4619.7
BC	6901.9	753.201	9.16339	0.000000	5398.9	8404.9
CE	4756.8	756.913	6.28445	0.000000	3246.4	6267.2
ADE	-29959.3	5994.247	-4.99801	0.000004	-41920.6	-17998.0
AC(A-C)	-6802.8	1990.624	-3.41743	0.001071	-10775.0	-2830.6
AE(A-E)	6630.1	1988.645	3.33396	0.001389	2661.8	10598.3
BC(B-C)	-4518.4	1984.089	-2.27734	0.025916	-8477.6	-559.3
BE(B-E)	3976.0	1981.513	2.00657	0.048774	22.0	7930.1

Tabell 7. Effekter baserade på 28-dygnsdata från kompressionsvågsmätningarna. Alla faktorerna som ingår i den kubiska modellen. De rödmarkerade värdena visar på en signifikansnivå under $p=0,05$.

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_28_f; R-sqr=.9152; Adj.:8538 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_28_f; MS Residual=104764.9					
	Coeff.	Std.Err.	t(47)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2757.6	227.599	12.11585	0.000000	2299.7	3215.4
(B)Lime	1094.6	227.599	4.80915	0.000016	636.7	1552.4
(C)GGBFS	353.0	227.599	1.55109	0.127589	-104.8	810.9
(D)E_Flyash	213.6	227.599	0.93831	0.352883	-244.3	671.4
(E)B_Flyash	1798.2	227.599	7.90068	0.000000	1340.3	2256.1
AB	928.1	1018.836	0.91097	0.366960	-1121.5	2977.8
AC	5917.3	1018.836	5.80793	0.000001	3867.7	7967.0
AD	2926.6	1018.836	2.87252	0.006093	877.0	4976.3
AE	-1973.4	1018.836	-1.93691	0.058781	-4023.0	76.2
BC	8789.8	1018.836	8.62726	0.000000	6740.1	10839.4
BD	1194.6	1018.836	1.17251	0.246903	-855.0	3244.2
BE	-1261.8	1018.836	-1.23850	0.221680	-3311.5	787.8
CD	122.4	1018.836	0.12018	0.904855	-1927.2	2172.1
CE	6434.7	1018.836	6.31573	0.000000	4385.1	8484.3
DE	388.6	1018.836	0.38137	0.704650	-1661.1	2438.2
ABC	-14519.3	7175.280	-2.02352	0.048727	-28954.1	-84.5
ABD	3311.1	7175.280	0.46146	0.646600	-11123.7	17745.9
ABE	9603.0	7175.280	1.33834	0.187224	-4831.8	24037.8
ACD	13143.3	7175.280	1.83174	0.073332	-1291.5	27578.1
ACE	-6703.8	7175.280	-0.93429	0.354928	-21138.6	7731.0
ADE	-26777.2	7175.280	-3.73187	0.000512	-41212.0	-12342.4
BCD	12947.4	7175.280	1.80444	0.077572	-1487.4	27382.2
BCE	-11210.9	7175.280	-1.56243	0.124896	-25645.7	3223.9
BDE	6493.1	7175.280	0.90493	0.370118	-7941.7	20927.9
CDE	9002.6	7175.280	1.25466	0.215805	-5432.2	23437.4
AB(A-B)	1405.5	2163.448	0.64968	0.519063	-2946.8	5757.8
AC(A-C)	-7717.7	2163.448	-3.56730	0.000843	-12070.0	-3365.4
AD(A-D)	-3623.9	2163.448	-1.67507	0.100562	-7976.2	728.4
AE(A-E)	7851.3	2163.448	3.62908	0.000700	3499.0	12203.6
BC(B-C)	-4806.3	2163.448	-2.22158	0.031165	-9158.6	-454.0
BD(B-D)	-678.2	2163.448	-0.31346	0.755320	-5030.4	3674.1
BE(B-E)	4889.2	2163.448	2.25992	0.028501	536.9	9241.5
CD(C-D)	-202.8	2163.448	-0.09372	0.925729	-4555.1	4149.5
CE(C-E)	6361.9	2163.448	2.94064	0.005068	2009.6	10714.2
DE(D-E)	-1936.1	2163.448	-0.89490	0.375400	-6288.4	2416.2

Tabell 8. Tabellen visar de kvarvarande signifikanta effekterna efter "backward elimination".

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:Vp_rod_28_f; R-sqr=.8261; Adj.:7958 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: Vp_rod_28_f; MS Residual=146270.9					
	Coeff.	Std.Err.	t(69)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	2641.7	188.071	14.04626	0.000000	2266.5	3016.9
(B)Lime	1234.2	159.337	7.74602	0.000000	916.4	1552.1
(C)GGBFS	535.2	213.044	2.51231	0.014337	110.2	960.2
(D)E_Flyash	559.9	160.875	3.48025	0.000873	238.9	880.8
(E)B_Flyash	1504.3	169.277	8.88679	0.000000	1166.6	1842.0
AC	5570.6	951.996	5.85146	0.000000	3671.4	7469.8
AD	3190.2	970.228	3.28813	0.001589	1254.7	5125.8
BC	7892.0	951.349	8.29563	0.000000	5994.2	9789.9
CE	6318.7	950.481	6.64791	0.000000	4422.6	8214.9
ADE	-29928.3	7562.989	-3.95721	0.000182	-45016.1	-14840.6
AC(A-C)	-7511.2	2511.772	-2.99042	0.003860	-12522.1	-2500.4
AE(A-E)	7551.3	2509.255	3.00936	0.003653	2545.4	12557.1
CE(C-E)	5855.4	2503.606	2.33880	0.022249	860.9	10850.0

Tabell 9. Effekter baserade på 90-dygnsdata från tryckhållfasthetsmätningar. Alla faktorerna som ingår i den kubiska modellen. De rödmarkerade värdena visar på en signifikansnivå under $p=0,05$.

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:UCS; R-sqr=.9678; Adj:.9445 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: UCS; MS Residual=232257.1					
	Coeff.	Std.Err.	t(47)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	5992.1	338.88	17.68189	0.000000	5310.3	6673.8
(B)Lime	1387.2	338.88	4.09355	0.000166	705.5	2069.0
(C)GGBFS	6910.7	338.88	20.39270	0.000000	6229.0	7592.4
(D)E_Flyash	263.6	338.88	0.77791	0.440522	-418.1	945.4
(E)B_Flyash	1577.6	338.88	4.65543	0.000027	895.9	2259.4
AB	-2448.3	1516.98	-1.61394	0.113235	-5500.1	603.5
AC	5147.8	1516.98	3.39344	0.001410	2096.0	8199.6
AD	1775.3	1516.98	1.17030	0.247780	-1276.4	4827.1
AE	1710.6	1516.98	1.12761	0.265208	-1341.2	4762.3
BC	6004.0	1516.98	3.95785	0.000254	2952.2	9055.8
BD	4620.5	1516.98	3.04586	0.003797	1568.7	7672.3
BE	834.3	1516.98	0.54994	0.584961	-2217.5	3886.0
CD	-12683.0	1516.98	-8.36066	0.000000	-15734.8	-9631.2
CE	6310.9	1516.98	4.16015	0.000134	3259.1	9362.7
DE	2361.3	1516.98	1.55657	0.126282	-690.5	5413.1
ABC	-14620.6	10683.55	-1.36851	0.177658	-36113.1	6872.0
ABD	-1054.7	10683.55	-0.09872	0.921779	-22547.2	20437.8
ABE	-6205.2	10683.55	-0.58082	0.564140	-27697.7	15287.4
ACD	45351.2	10683.55	4.24496	0.000102	23858.7	66843.7
ACE	-45649.2	10683.55	-4.27285	0.000093	-67141.7	-24156.6
ADE	10067.1	10683.55	0.94230	0.350859	-11425.4	31559.6
BCD	54712.7	10683.55	5.12122	0.000006	33220.2	76205.3
BCE	-21262.1	10683.55	-1.99017	0.052406	-42754.6	230.4
BDE	7008.6	10683.55	0.65602	0.515009	-14483.9	28501.2
CDE	43775.5	10683.55	4.09747	0.000164	22283.0	65268.0
AB(A-B)	1876.0	3221.24	0.58237	0.563099	-4604.3	8356.3
AC(A-C)	-6009.6	3221.24	-1.86562	0.068343	-12489.9	470.7
AD(A-D)	648.5	3221.24	0.20132	0.841319	-5831.8	7128.8
AE(A-E)	5207.7	3221.24	1.61667	0.112643	-1272.6	11688.0
BC(B-C)	-8918.3	3221.24	-2.76860	0.008031	-15398.6	-2438.0
BD(B-D)	419.5	3221.24	0.13024	0.896934	-6060.8	6899.8
BE(B-E)	-887.0	3221.24	-0.27537	0.784238	-7367.3	5593.3
CD(C-D)	-10632.0	3221.24	-3.30060	0.001847	-17112.3	-4151.7
CE(C-E)	7909.8	3221.24	2.45551	0.017822	1429.5	14390.1
DE(D-E)	-3409.2	3221.24	-1.05835	0.295307	-9889.5	3071.1

Tabell 10. Tabellen visar de kvarvarande signifikanta effekterna efter "backward elimination".

Factor	Coeffs (recoded comps); Var.:UCS; R-sqr=.9164; Adj:.9046 (Resultat_rev091123.sta) 5 Factor mixture design; Mixture total=1., 82 Runs DV: UCS; MS Residual=399436.4					
	Coeff.	Std.Err.	t(71)	p	-95.% Cnf.Limt	+95.% Cnf.Limt
(A)Cement	6042.5	238.21	25.3667	0.000000	5567.5	6517.5
(B)Lime	1497.8	235.56	6.3587	0.000000	1028.1	1967.5
(C)GGBFS	8499.5	269.19	31.5738	0.000000	7962.7	9036.3
(D)E_Flyash	1006.3	265.81	3.7857	0.000317	476.3	1536.3
(E)B_Flyash	1985.8	238.21	8.3363	0.000000	1510.8	2460.7
CD	-17791.7	1675.96	-10.6158	0.000000	-21133.5	-14449.9
ACD	60200.0	12482.71	4.8227	0.000008	35310.2	85089.8
ACE	-24816.7	12149.73	-2.0426	0.044809	-49042.6	-590.9
BCD	78876.2	12501.89	6.3091	0.000000	53948.1	103804.2
CDE	59769.4	12482.71	4.7882	0.000009	34879.6	84659.2
CD(C-D)	-11168.5	4107.77	-2.7189	0.008227	-19359.2	-2977.9

