



UNITED
BY OUR
DIFFERENCE



Rapport

Avjämningsmassors påverkan på kalkstensbeläggningar

2011-01-31

Upprättad av: Jörgen Grantén och Daniel Andersson

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Avjämningsmassors påverkan på kalkstensbeläggningar

Förord

Genom Sveriges Stenindustriförbund har vi fått möjlighet att undersöka hur olika grad av fuktbelastning från avjämningsmassor påverkar en kalkstensbeläggning.

Då fuktmätningar normalt inte utförs i avjämningsmassor före läggning av golvytskikt sker en oförutsägbar fuktbelastning som kan vara allt från torra förhållanden under 60% RF till 100% RF med kapillärsugning.

Negativa konsekvenser av att golvbeläggningar läggs på okontrollerad fuktig avjämningsmassa förekommer. Av våra tidigare studier på uttorkningsförlopp för tjocka avjämningskikt har det tydligt visats att torktiderna är väsentligt längre än vad leverantörerna anger i sina anvisningar.

Kalkstensbeläggningar kan under ogynnsamma förhållanden få ytskador som beror på den höga fuktbelastningen. Det är bara genom praktiska försök som det går att bevisa om det finns ett tydligt samband mellan hög RF i avjämningsmassa och uppkomst av ytskador. Först när detta är känt kan krav ställas på högsta tillåtna fukttillstånd före läggning av kalkstensbeläggningar och ett behov av att detta kontrollmäts.

Vi tackar för ett gott samarbete med alla som deltagit och hoppas resultatet kommer till användning för att undvika felfunktioner och skador i framtiden!



Jörgen Grantén



Daniel Andersson

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		
		

Innehållsförteckning

FÖRORD	2
SAMMANFATTNING	4
1 PROJEKTETS BAKGRUND	6
1.1 PROBLEMBILD	6
1.2 REFERENSGRUPP	6
1.3 SYFTE	7
1.4 AVGRÄNSNINGAR	7
2 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNINGAR	8
2.1 GENOMFÖRANDE VID GJUTNING	8
2.2 ANVÄNDA PRODUKTER	8
2.3 FÖRSÖK 1 – "FÖRSTUDIEN"	9
2.3.1 Försöksuppställning, försök 1	9
2.3.2 Mätningar, försök 1	11
2.4 FÖRSÖK 2 – "HUVUDSTUDIEN"	12
2.4.1 Försöksuppställning, försök 2	12
2.4.2 Mätningar, försök 2	15
3 MÄTMETODER	15
3.1 FUKTMÄTNINGAR	15
3.2 VISUELL OCH FYSISK BEDÖMNING	16
3.3 RÖNTGENDIFFRAKTIONSANALYS	16
3.4 BEDÖMNINGSMATRIS	17
4 MÄTRESULTAT, FÖRSÖK 1	18
4.1 FUKTTILLSTÅND	18
4.2 VISUELLA FÖRÄNDRINGAR	19
4.3 MATERIALANALYS	19
5 MÄTRESULTAT, FÖRSÖK 2	19
5.1 FUKTTILLSTÅND	19
5.1.1 Loggning av fukttillstånd	19
5.1.2 Uttagna prov efter stenläggning	21
5.1.3 Fuktprofiler	24
5.2 VISUELLA FÖRÄNDRINGAR	26
5.3 BEDÖMNINGSMATRIS	27
6 UTVÄRDERING OCH SLUTSATSER	28
6.1 MATERIALBEROENDE	28
6.2 FUKTBEROENDE	29
6.2.1 Fuktindikering mot skadeindex	29
6.2.2 RF i borrhål mot skadeindex	29
6.2.3 RF i uttagna prov mot skadeindex	30
Bilaga 1	Uttorkningsdiagram för varje fabrikat, 10st
Bilaga 2	Fotobilaga, 14st

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Sammanfattning

Bakgrund

Under åren 2003 fram till nu har ett antal skadefall inträffat där ytan på kalkstenen skadats. Dessa fall har alla haft gemensamt att de lagts på underlag av avjämningsmassa. Orsaken till att det uppkommit ytskador har inte kunnat säkerställas, men misstanken mot att fukt från avjämningsmassan påverkat stenen har väckts.

Normalt läggs stenplattor på betong och avjämningsunderlag så snart som möjligt enligt de anvisningar som leverantören av avjämningsmassan rekommenderar. Detta kan ske redan efter ett par dagar i extrema fall, vilket gör att tjocka avjämningskikt inte hinner torka ut.

Syfte

Detta projekt har utförts i syfte att kontrollera om hög fuktnivå i avjämningsmassor och/eller deras kemiska sammansättning kan medföra skador på kalkstensbeläggningar. Det har även varit en målsättning att finna vid vilket kritiskt fuktillstånd hos avjämningsmassan som kalkstensbeläggningar riskerar att skadas.

Kritiskt fuktillstånd = Fukttillstånd vid vilket ett materials avsedda egenskaper och funktion inte uppfylls.

Genomförande

I projektet har totalt 10 olika avjämningsprodukter testats från 5 olika fabrikat. Från varje fabrikat har en normaltorkande och en självtorkande avjämnning valts.

Praktiska försök har utförts i plastbackar med 50 mm tjock avjämnning. Stenläggning har skett vid 4 olika tillfällen för att utsätta stenmaterialet för 4 olika fuktbelastningar från samma avjämnning.

Resultat

Utfällningar uppkommer dels som avtorkningsbara salter, dels som irreversibla deformationer och lossprängning av ytmaterial i stenplattorna.

Skadeutvecklingen har visat ett tydligt fuktberoende där fuktnivåer i avjämnningar som uppmätts till över 90% RF generellt har lett till skador medan stenplattor på torrare avjämnningar har förblivit intakta.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Följande har framkommit av försöken:

- Ytskador uppkommer i de flesta fall vid $RF > 90\%$.
- Saltutfällningar förekommer på alla stenbeläggningar med ytskador, vilket tyder på att kapillärvandring krävs för att skador ska uppkomma.
- Skillnaden i fuktnivå mellan normaltorkande och självtorkande produkter är försumbar vid mätning 4 månader efter gjutning.
- Inga skillnader i skadeuppkomst har noterats mellan normaltorkande och självtorkande avjämningsmassor.
- Stora variationer förekommer mellan olika fabrikat både avseende torktider och skadeutveckling.

Slutsats

Försöken visade en tydlig samvariation mellan skada och fuktnivå:

- Tydlig bestående skada vid $RF > 95\%$
- Mindre skada vid $RF = 90-95\%$
- Ingen skada vid $RF < 90\%$

Vid kapillärvandring mellan avjämningsmassa och stenbeläggning sker sannolikt transport av alkalialter som kristalliserar i stenyta och medför skador. För att denna transport skall ske krävs att RF överstiger 90%, vilket därmed rekommenderas införas som kritiskt fukttillstånd för läggning av kalkstensbeläggning på avjämningsmassa oavsett typ och fabrikat.

För kalkstensbeläggning på avjämningsmassa gäller:

- *Kritiskt fukttillstånd = 90% RF*

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

1 Projektets bakgrund

1.1 Problembild

Sveriges Stenindustriförbund har under ett antal år fått inrapporterat skador på stenbeläggningar, främst kalksten vid läggning på avjämningsmassor. Synliga skador har visat sig som ytvittring, utfällningar, resningar och avflagningar på stenbeläggningens yta. I ett flertal fall har konstaterats att fuktnivån varit förhöjd i underlaget och i samtliga fall okontrollerad vid stenläggning.

Detta har orsakat misstankar om att avjämnningen gett en ogynnsam påverkan på stenbeläggningen med synliga skador som följd. Sammanställning, daterad 2009-03-07 av Stenutveckling Nordiska AB gjord av Christer Kjellén, visar på 7 besiktigade fall mellan åren 2004 och 2008 med skador där avjämningsmassor varit inblandade.

Fuktnivån i avjämningsmassor kontrollmäts sällan eller aldrig före läggning av golvbeläggning av stenmaterial. Fuktnivåns påverkan är okänd och svår att fastställa i efterhand. Då olika typer av avjämningsmassor med olika fabrikat används är dess påverkan än mer komplex, eftersom det inte bara är fuktnivån som styr vad som sker. Den kemiska sammansättningen varierar sannolikt stort avseende typ av cement och tillsatsmedel etc, vilket kan ha avgörande betydelse för uppkomst av synliga skador.

1.2 Referensgrupp

Projektet har finansierats av Sveriges Stenindustriförbund/STEN genom MinBaS-projektet. Representanter från STEN har ingått i en referensgrupp för att styra inriktningen och upplägget av gjorda försök, samt för att tillföra synpunkter och kommentarer till erhållna resultat. I referensgruppen har följande personer ingått:

- Kurt Johansson, Sveriges Stenindustriförbund
- Christer Kjellén, Stenutveckling Nordiska AB
- Göran Falk, Naturstenskompagniet
- Björn Schouenborg, CBI Betonginstitutet
- Mats-Ola Ericsson, Borghamns Stenförädling AB

Ett inledande möte hölls den 10 augusti 2009 och ett avslutande den 25 november 2010.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

1.3 Syfte

Syftet med projektet har varit att systematiskt och kontrollerat utsätta kalkstensbeläggning för de variabler som misstänks innebära en risk för utfällningar.

Målet har varit att finna vilka krav som skall ställas på avjämningen för att undvika att skador uppkommer. Undersökta variabler har varit:

- Olika fuktnivå i avjämning vid läggning.
- Olika fabrikat på avjämningsmassor.
- Olika typ av avjämning: Normaltorkande- och självtorkande.
- Olika tid mellan gjutning och läggning.

Efterhand som projektet löpt har fokus mer och mer lagts på att kontrollera vilken kritiskt fukttillstånd som gäller för avjämningen vid läggning av stenbeläggning.

Kritiskt fukttillstånd anges i BBR08 som:

”Fukttillstånd vid vilket ett materials avsedda egenskaper och funktion inte uppfylls.”

1.4 Avgränsningar

Olika typ av avjämningsmassors kemiska sammansättningar har inte redovisats.

Gjutning av avjämning har endast gjorts på tätt underlag. Uttorkningsförhållanden på andra underlag såsom betongbjälklag med tillskjutande fukt eller uttorkande verkan har sannolikt stor inverkan på skaderisken. Detta har ej studerats.

Påverkan av pH eller kemisk/fysikalisk påverkan från underliggande bjälklag har ej utförts.

Samtliga försök har utförts i labbmiljö under temperaturstabila förhållanden, dvs 18 till 20 °C.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

2 Försöksuppställningar

Två separata försök har utförts och beskrivs nedan.

Försök 1 gjordes som en förstudie under vinterhalvåret 2009-2010. I försöket användes endast ett fabrikat normaltorkande avjämningsmassa. Alla tio formarna göts vid samma tillfälle. Därefter lades den första kalkstensplattan efter en vecka och resterande nio med en veckas mellanrum.

Utifrån resultat och erfarenheter från försök 1 utfördes det mer omfattande försök 2. Försök 2 som utgjort huvudstudien, startade våren 2010 och innefattade tio olika avjämningsprodukter där hälften var självtorkande och resterande normaltorkande.

2.1 Genomförande vid gjutning

Formarna som avjämningsmassan göts i bestod av plastbackar med dimensionerna 300x400 mm². Dessa var inköpta från Bauhaus i Malmö. Backarna hade släta sidor av plast och det antogs därför inte ske någon uttorkning av avjämningsmassan genom plastbacken som påverkar resultaten nämnvärt.

Avjämningsmassorna blandades och göts av undertecknade enligt de anvisningar som finns för respektive produkt.

För att minimera antalet påverkande faktorer valdes som fästmassa samma avjämningsmassa som underliggande avjämning för respektive provkropp. Fästmassans skiktjocklek var ca 2-3 mm avjämning vid läggning av kalkstensplattan. Stenen fixerades direkt på den blöta fästmassan och trycktes till för att få en så stor kontaktyta som möjligt. Skarven mellan kalkstenen och formen tätades efter ca 1 timme med aluminiumfolierad byggtejp och skarvband av bitumen från Mataka.

Försöken har utförts i WSP:s lablokal i källarplan där klimatet med avseende på temperatur och relativ fuktighet har varit stabilt under försökstiden.

2.2 Använda produkter

Urvalet av avjämningsmassor baseras på de på marknaden vanligast förekommande utifrån intervjuer med leverantörer. Syftet har varit att fånga olikheter mellan produkterna och att belysa eventuella skillnader/likheter mellan normal- och självtorkande produkter.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Avjämningsmassor:

Tillverkare	Produktnamn	Typ
Combimix AB	Combimix 700	Normaltorkande
Combimix AB	Combimix 780	Självtorkande
Finja AB	Finja 200 Grov	Normaltorkande
Finja AB	Finja 280 Ultra	Självtorkande
Weber, Saint-Gobain Byggprodukter AB	Weber 4310	Normaltorkande
Weber, Saint-Gobain Byggprodukter AB	Weber 4320	Självtorkande
Bostik AB	Bostik Flyt Grov	Normaltorkande
Bostik AB	Bostik Fiber	Självtorkande
TM Progress AB	TM Express K	Normaltorkande
TM Progress AB	TM Rotavjämning	Självtorkande

Tabell 1. Undersökta fabrikat och produkter.

<u>Stenmaterial:</u>	Ölandssten, grå G1, normalslipad ovansida, dimension: 400x300x12 mm ³ .
<u>Skarvtätningar:</u>	Mataki Byggtejp av aluminiumfolierad bitumen. Mataki Skarvband av bitumen.
<u>Provbackar:</u>	Plast.
<u>Måthål:</u>	Elrör, diameter 16 mm.

2.3 Försök 1 – "Förstudien"

Syftet med försök 1 var att studera vilken fuktnivå avjämnningen erhåller vid läggning av sten med 1 veckas mellanrum efter gjutning. Dessutom utprovades provbackarnas funktion avseende tätningar och mätmetoder för övervakning av fuktnivåer.

Samtidigt i försöket gavs möjlighet att kontrollera vilken typ av skador som uppkommer, vid vilken fuktpåverkan och efter hur lång tid eventuella skador blir synliga på ytan.

2.3.1 Försöksuppställning, försök 1

Försök 1 startade den 23 november 2009 genom att samtliga 10 provkroppar göts med en normaltorkande avjämnning. Alla formarna avjämnades med 50 mm skikttjocklek vid samma tillfälle.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

En vecka efter gjutning lades den första stenbeläggningen på avjämningen med ca 2-3 mm nyblandad avjämning som fästmassa. Efter ca 1 timme förslöts skarven mellan stenbeläggning och plastback med skarvband av bitumen samt aluminiumfolierad byggtejp för att uppnå god täthet.

Utöver uttorkningen till följd av cementreaktionerna, har det antagits att all uttorkning sker genom stenmaterialet. Resterande stenbeläggning lades för de övriga formarna med en veckas mellanrum. Detta medförde att stenbeläggningarna utsattes för olika fuktnivåer.



Bild 1: Försök 1 bestod av 10 plastbackar med dimension 300x400 mm² avjämnade med 50 mm normaltorkande avjämning.

Före gjutning borrades mätthål i plastbackarnas sida för två st 50 mm långa elrör, som fixerades. Rören sattes på ca 20 respektive 30 mm nivå ovan botten. Skarven mellan elrör och plastback tätades inifrån med terostatband.

Tre dygn efter gjutning borrades hål genom det ingjutna elrören ytterligare ca 100 mm in i avjämningsmassan. Hålen rengjordes omsorgsfullt från damm- och borrester för att undvika mätfel, hålen tätades provisoriskt. Efter ytterligare fyra dygn kunde RF-givare monteras i mätthålen. Syftet med de ingjutna elrören var att mäta den relativ fuktigheten (RF) en bit in i provkroppen och därav undvika mätfel kring kanter.

Loggning utfördes kontinuerligt med 10 givare med mätsystem FuktLog från FuktCom AB, Malmö.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		



Bild 2: Stenbeläggning lades med en veckas mellanrum. Relativ fuktighet i provkropparna loggades kontinuerligt.

2.3.2 Mätningar, försök 1

Följande mätningar och kontroller utfördes:

- Kontinuerlig loggning av torkklimatet i lokalen.
- Relativ fuktighet i avjämningsmassan loggades med en timmes intervall i nedre delen av avjämnningen, 20 mm från underkant.
- Ytorna undersöktes visuellt och fysiskt med två veckors mellanrum. Skillnader mot en referenssten (kalksten ej lagd på avjämningsmassa) noterades.
- Ytorna fotodokumenterades.
- Mineralidentifiering utfördes genom röntgendiffraktionsanalys av skrapprov från en skadad kalkstens yta.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

2.4 Försök 2 – "Huvudstudien"

Syftet med försök 2 var att bedöma konsekvenserna med att utsätta kalksten för 10 olika avjämningsprodukter med 4 olika fuktillstånd. Målet var att få svar på:

- Sambandet mellan fuktnivå i avjämnning och skadeutveckling.
- Skadeskillnader mellan olika produkter avseende fabrikat och avjämningsstyp.
- Olika typer av skador.
- Skadeförlopp.

2.4.1 Försöksuppställning, försök 2

Försök 2 startade den 19 maj 2010, då avjämnningen göts i provformar.

Två på marknaden vanligt förekommande produkter, en normaltorkande och en självtorkande, valdes ur vardera av fem olika leverantörers sortiment. Framöver benämns produkterna med ett nummer från 1 till 10, nummerordningen är avsiktligt inte baserad på ovanstående tabell.

Formarna avjämnades med en skikttjocklek på 50 mm vid samma tillfälle för att uttorkning skulle ske under samma omständigheter. Precis som i försök 1 borrades måthål i plastbackarna, där ett elrör fixerades, i mitten av provkroppen med underkant ca 20 mm över botten. Mätning utfördes med kontinuerlig loggning på samma sätt som under försök 1, se kapitel 2.2.1.



Bild 3: Totalt har 40 formar avjämnats med en skikttjocklek på 50 mm.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Stenläggning utfördes vid fyra tillfällen med cirka 2-3 mm avjämning som fästmassa. Fabrikatet för fästmassan var samma som underliggande avjämning för respektive provkropp. På så sätt minimerades antalet faktorer som kunde påverka resultatet. Provformarna i försöket var av samma typ som i försök 1.

Fyra olika fukttillstånd valdes för att undersöka gränsen för kritisk fuktnivå för läggning av kalksten. Eftersom detta gjordes för 10 avjämningsprodukter göts totalt 40 provkroppar i huvudstudien. Tiderna för stenläggning i respektive serie kan ses i tabell nedan.

Produkt	Typ	Serie A	Serie B	Serie C	Serie D
1	Normaltorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
2	Självtorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
3	Normaltorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
4	Självtorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
5	Normaltorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
6	Självtorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
7	Normaltorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
8	Självtorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
9	Normaltorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor
10	Självtorkande	2 dygn	1 vecka	4 veckor	10 veckor

Tabell 2. Uttorkningstider före stenläggning.

Kommentarer till valet av läggningstider

Serie A:

- Båda produkttyperna (normal- och självtorkande) har belagts med sten redan efter 2 dygn. Så tidig läggning, även på normaltorkande avjämning, föranleddes av telefonsamtal med leverantörer och återförsäljare av avjämningsmassor. Samtliga framförde att ett stenmaterial uppfattas som ett material som inte stänger in fukten och som inte anses vara fuktkänsligt. Enligt leverantörernas läggningsanvisningar för självtorkande avjämning skall den beroende av fabrikat vara mattläggningsbar efter 1- 3 dygn för limning av PVC-matta. Detta innebär att produkten inte skall utsätta golvbeläggningen för fukt över dess kritiska nivå på 85% RF.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Serie B:

- Resultaten från stenläggning efter en vecka i försök 1 gav ett mycket tydligt besked om att synliga skador uppkommit. Resultaten framträdde relativt tidigt (inom 1 månad) och det är därför av intresse att studera denna uttorkningstid. Skillnader mellan de olika fabrikaten kan effektivt studeras samt jämföras med resultaten i försök 1.

Serie C och D:

- Tider för serie C och D bygger på tidigare erfarenheter av uttorkningstider då avjämningsprodukterna underskrider 95 % RF och 85 % RF efter cirka 4 respektive 10 veckor. Erfarenheterna kommer från uttorkningsprojekt, SBUF-projekt 11427, daterad 2004-10-27. Skadeförloppen vad gäller limmade PVC-mattor uppträder tydligt vid RF över 95 %, vilket även är värt att studera för stenbeläggningar.
- Leverantörerna föreskriver en kritisk RF på 85 % för limmade PVC-mattor som därmed utgör en gräns på säkra sidan. Enligt produktblad ska de normaltorkande produkterna vara mattläggningssbara efter 4 – 7 veckor beroende på fabrikat under rådande uttorkningsförhållanden. Serie D syftar till att uppfylla detta krav.



Bild 4: Stenläggning har utförts på serie a, b och c. Skarvar har tätats med aluminiumfolierad byggtejp.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

2.4.2 Mätningar, försök 2

Följande mätningar och kontroller utfördes:

- Kontinuerlig loggning av torkklimatet i lokalen.
- Relativ fuktighet i avjämningsmassan loggades med en timmes intervall i nedre delen av avjämnningen, 20 mm från underkant.
- Fuktindikering av ytorna med en fuktindikator, fabrikat Gann Uni-1.
- Ytorna undersöktes visuellt och fysiskt med två veckors mellanrum. Skillnader mot en referenssten (kalksten ej lagd på avjämningsmassa) noterades.
- Ytorna fotodokumenterades.
- Mineralidentifiering utfördes genom röntgendiffraktionsanalys av skrapprov från Kalkstenens yta.

3 Mätmetoder

3.1 Fuktmätningar

En branschstandard för mätning av RF i tjocka avjämningskikt finns nu framtagen och redovisad under hösten 2010. Detta arbete påbörjades av undertecknad genom tester av olika mätmetoder i SBUF-projekt 11791, ”Mätmetoder för fuktmätning i avjämningsmassor”, daterad 30 oktober 2008.

Arbetet har drivits vidare av GBR (GolvBranschens Riksförbund) som fastställt en branschstandard. Då den utprovats klart är den tänkt att införas i RBK-systemets (Rådet för ByggKompetens) mätmanual för fuktmätning i betong.

Fuktmätningar har i detta projekt utförts på tre sätt:

1. Ytindikerande mätning med ytfuktindikator Gann Uni-1. Mätområde 0-180.

Fuktindikatorn mäter förändringar i densitet, dvs. ändringar i fukthalt och därmed vatteninnehåll hos ett material. Mätresultatet visar huvudsakligen vilket fukttillstånd kalkstenen har.

Fuktindikering är utförd mot stenbeläggning efter läggning.

2. Indikerande RF-mätning med kapacitiva givare som kontinuerligt loggat RF inne i borrhål i avjämnningen. Mätning som kontinuerligt loggats med prober monterade i borrhål har periodvis flyttats mellan olika serier. Värdena utgör endast indikativa resultat i syfte att följa uttorkning och jämförelse av fuktnivåer. Fuktgivare FC-100 med tillhörande fuktlogger FuktLog hyrdes av FuktCom AB.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Under mättiden har problem med drift uppmärksamats varpå givare och mätinstrument kalibrerats vid ett flertal tillfällen. Givarna har utsatts för en mycket fuktig och alkalisk miljö under lång tid vilket har påverkat driften. Sannolikt tål inte givarna att sitta i en fuktig och alkaliskmiljö motsvarande 95 – 100% RF.

3. Verifierande RF-mätning genom uttag av prov. Detta har gjorts dels genom uttag av hel borrhäls som skiktats i 10 mm skikt, dels som uttag av prov på mätdjupet 40-50 mm från botten av provformen.

Samtliga fuktmätningar i uttagna prov har utförts med Vaisala HMP 44 prober som loggas online i fuktlabb, dvs i temperaturstabil klimat. WSP:s fuktlaboratorie är godkänt för RBK-auktorisering, vilket innebär att utrustningen är spårbart kalibrerad och skött enligt RBK-krav.

3.2 Visuell och fysisk bedömning

Provformarna har fotograferats och avsynats med ca 2 veckors mellanrum. Observationerna avser förekomst av:

- Saltutfällningar.
- Ytjämnheten.
- Vittring i ytan, avflagningar av material.
- Nyans som förändras av fukttillståndet.

Observationerna har sammanställts i en utvärderingsmatris som korrelerats mot uppmätta fukttillstånd.

3.3 Röntgendiffraktionsanalys

En kvalitativ mineralidentifiering har utförts på skrapprov från kalkstens yta genom röntgendiffraktionsanalys (XRD). Mineralidentifieringen har utförts av ALS Scandinavia AB.

Ytan på provkropp 1 i försök 1 skrapades med ett rakblad den 3 juni 2010 och resterna lämnades in för mineralidentifiering genom röntgendiffraktionsanalys. Det var i synnerhet ytan kring resningar och flisor som skrapades för analys.

Mängden som skrapades bort från stenmaterialets yta för analys var mellan 0,3 – 0,5 gram. Analysen syftade till att få en uppfattning om vilka ämnen som har fällts ut och utifrån ämnens egenskaper ge underlag för att förklara anledningen till skadeförloppet.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

3.4 Bedömningsmatris

För att få jämförelsebara värden på de visuella förändringar som skett har en ”bedömningsmatris” upprättats. De två olika parametrarna, utfällning respektive resning, som noterats värdesätts med 0 – 3 i förhållande till varandra. Värdena från dessa två bedömningar har summerats till ett ”skadeindex”.

Bedömningen har gjorts enligt följande kriterier:

- 0 Ingen synlig påverkan
- 1 Liten påverkan, ingen bestående skada
- 2 Tydlig, trolig bestående skada
- 3 Kraftig, säkert bestående skada

Huruvida skada uppkommer som blir bestående eller ej är svårt att förutse. Kriteriet har dock varit att avtorkningsbara salter etc ger bedömningen 1, medan ojämnheter hos ytan ger bedömningen 2 och 3 då det lossnat bitar.



Bild 5: Saltutfällningar som är avtorkningsbara ger bedömningen 1.



Bild 6: Utfällningar som är bestående ger bedömningen 2 eller 3.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Bedömningen är ett försök att objektivt finna samband mellan produkterna, fukttillstånd i förhållande till läggningstiderna.

4 Mätresultat, försök 1

4.1 Fukttillstånd

Resultaten från loggning av RF redovisas i nedanstående diagram. Provform 1, 2, 3 och 5 som belades med stenbeläggning efter lika många veckor visar alla 100% RF genom hela försöket. Orsaken är sannolikt att fuktgivarna inte tålt att ligga så fuktigt.

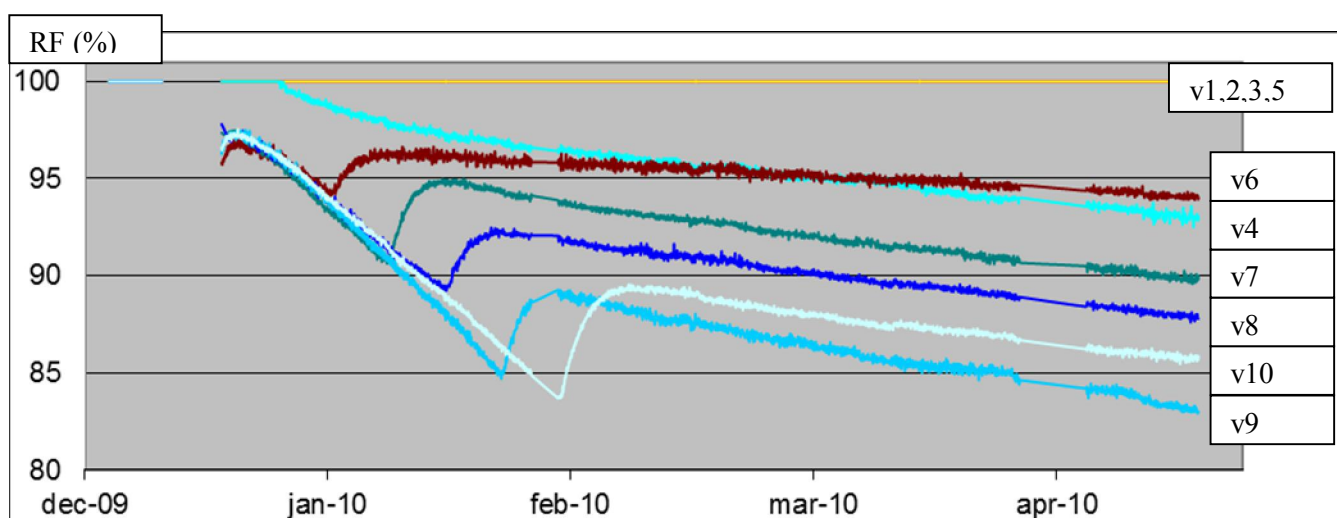


Diagram 1: Loggning av RF i mittskiktet i avjämningen, försök 1. Till höger anges vilken vecka efter gjutning stenbeläggning lades.

Av diagrammet ovan kan bl a följande utläsas:

- Före läggning minskar RF med ca 10% per månad och efter stenbeläggning med ca 2% RF per månad. Värdena är endast en indikation på fukttillståndet i mätpunkten.
- Efter stenläggning ökar RF i mätpunkten (avjämningens mitt) med ca 3-5 % RF.
- Fuktomfördelningen inom avjämningen som berör mätpunkten i avjämningens mitt sker inom ca 1 vecka.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

4.2 Visuella förändringar

Noteringar efter stenläggning

Förändringar dokumenterades löpande och redovisades i info-PM. Följande visuella förändringar framkom:

- Stenbeläggning som lades efter 1 veckas torktid fick skador relativt tidigt. Saltutfällning framträdde inom 1 månad och utfällningar och ojämnheter uppkom i ytan efter ca 1 månad.
- Efter ca 7 veckor efter läggning kunde tydliga resningar i ytan noteras. Dessa var uppskattningsvis ett 20-tal över ytan, dock knappt synliga för ögat. Inga avspjälkningar eller missfärgningar hade då uppstått.
- Efter ca 2 månader hade även provform 2 kännbara upphöjningar i ytan, ej så tydliga som provform 1.
- Övriga provformar hade då inte uppvisat tecken på skador än.

Uppföljande noteringar

Provkropparna undersöktes den 3 juni och den 10 augusti 2010, dvs. ca 7 respektive 9 månader efter gjutning. Förändringarna hos provkropparna är marginella. Omfattningarna av skador är fortfarande mest koncentrerade på provkropp 1. Resningar har noterats på ett par av de övriga provkropparna, prov 2 – 4, men de är mycket små och svåra att fotodokumentera.

4.3 Materialanalys

Resultatet från analysen visade på ett stort innehåll av kvarts och kalcit, vilket var förväntat.

Svaren visade även på en mindre mängd, några procent, glimmer och montmorillonit. Montmorillonit är ett lermineral som sväller vid kontakt med vatten och när även alkali är inblandad till flera gånger sin normala storlek.

5 Mätresultat, försök 2

5.1 Fukttillstånd

5.1.1 Loggning av fukttillstånd

Under hela försöket har loggning skett med 10 st fuktprober som periodvis flyttats mellan de olika provserierna. Resultaten visar en trend för varje provform där värden efter läggning av stenbeläggning verifierats med uttagna prov för fuktmätning.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Som nämnts tidigare har alla resultat inte kunnat användas pga drift hos fuktgivarna. Orsaken är att fuktnivån varit för hög för fuktgivarna, vilket visar sig genom att de anger för höga värden så länge RF ligger över 95%. Felet har blivit bestående trots att fuktnivån sjunkit.

Nedan visas ett exempel där fuktnivån legat under 95% under största delen av mätperioden, dvs. där loggningen fungerat relativt bra. Alla fuktmätningensresultat har sammanställts i ett diagram per produkt, dvs totalt 10st. Dessa diagram har bilagts rapporten.

Fabrikat 2

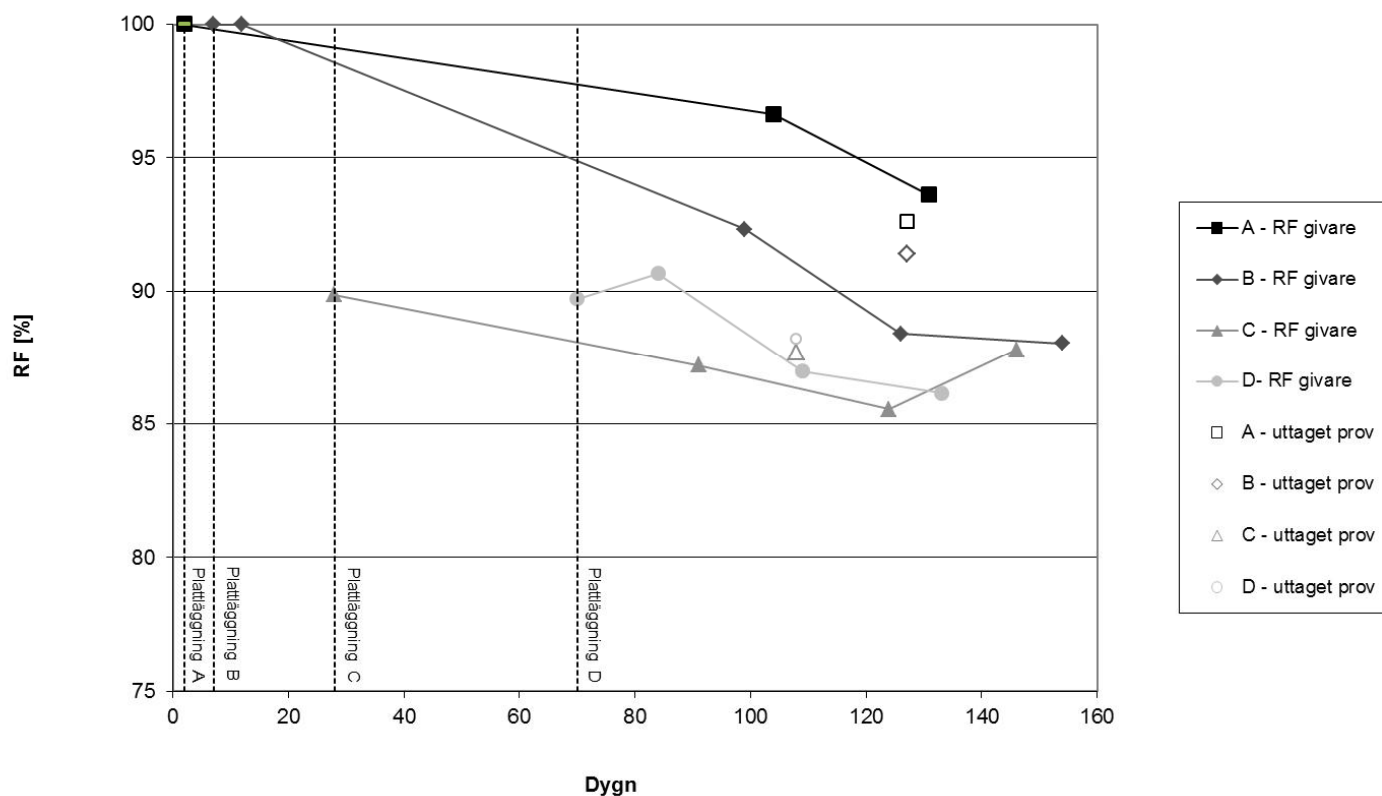


Diagram 2: Fuktnivån under torkförloppet under de första 4 månaderna. Kurvorna visar värden från utförd loggning och punkter visar resultat av uttagna RF-prov som bestämts på fuktlab.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

5.1.2 Uttagna prov efter stenläggning

Uttag av prov gjordes samtidigt i alla provformer i underkant av avjämnningen. Laggning av stenbeläggning gjordes vid fyra tillfällen som anges med A - D där:

A = stenläggning efter 2 dygn

B = stenläggning efter 1 vecka

C = stenläggning efter 4 veckor

D = stenläggning efter 10 veckor

Provtagningen gjordes den 23 september och visade följande relativa fuktighet (RF):

Provform	A	B	C	D
1	97,1	95,2	95,3	92,8
2	92,6	91,4	87,6	88,1
3	97,2	96,8	94,0	89,7
4	96,6	96,6	95,2	94,7
5	97,9	95,6	93,8	90,9
6	97,4	97,0	94,3	94,6
7	85,3	84,0	84,5	82,6
8	95,7	94,5	87,1	83,0
9	91,5	90,7	88,5	82,0
10	91,5	86,4	88,4	86,7

Tabell 3: Värdena anges som RF i % utan korrigering för mätfel.

Mätvärden från uttagna prov bedöms vara de mest tillförlitliga värdena på RF som stenbeläggningen utsatts för. Eftersom provtagningen skett 2-4 månader efter laggning av stenplattor antas att RF varit högre vid laggningstillfället. Särskilt för tidig stenläggning vid laggningstillfälle A och B.

Nedan visas uppmätta värden i diagramform för samtliga uttagna prov:

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

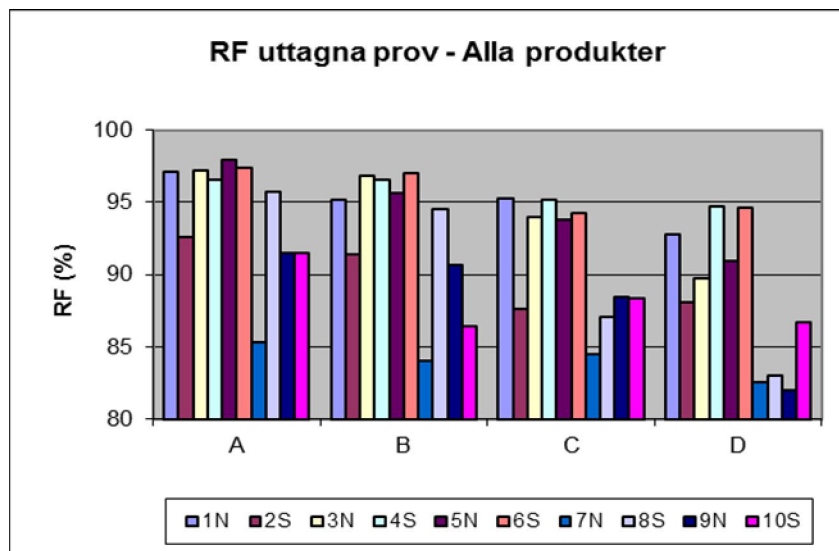


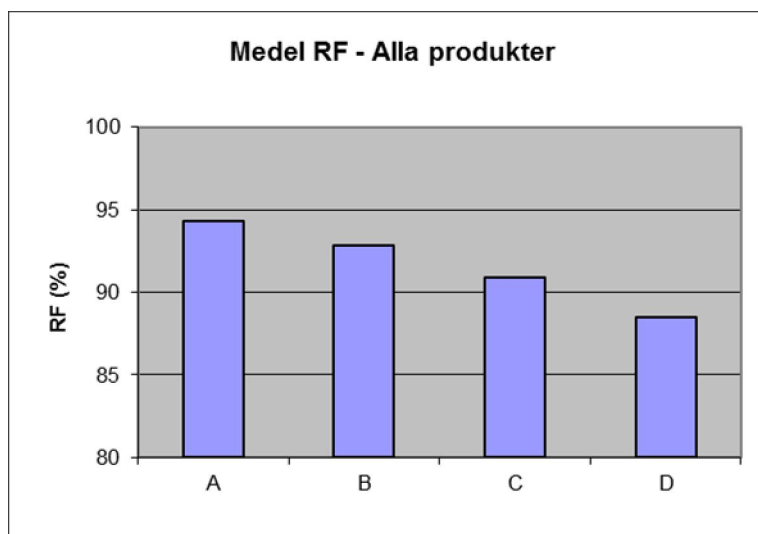
Diagram 3: Vid varje läggningstillfälle A-D redovisas varje provforms RF som stapel. Benämningen "1N" avser prov ett med Normaltorkande avjämning, "2S" betyder provform 2 med Själv-torkande avjämning osv.

Av diagrammet kan följande utläsas:

- Vid läggning av sten efter 2 dygn är RF hög, i de flesta fall över 95%. Provtagning dock utförd ca 4 månader efter stenläggning.
- Vid läggning efter 1 vecka finns stora variationer i fuktnivå mellan olika produkter. Värden mellan 84 och 97% förekommer.
- I provformar där stenbeläggning lagts efter 4 respektive 10 veckor förekommer fortfarande fuktnivåer kring 95% RF, 3 respektive 2 månader efter stenläggning.
- Ingen skillnad kan visas mellan normaltorkande (provformar med udda nummer) och själv-torkande produkter (provformar med jämna nummer).

Medelvärden redovisade i diagramform för alla fabrikat 1-10 för respektive läggningstillfälle visas nedan:

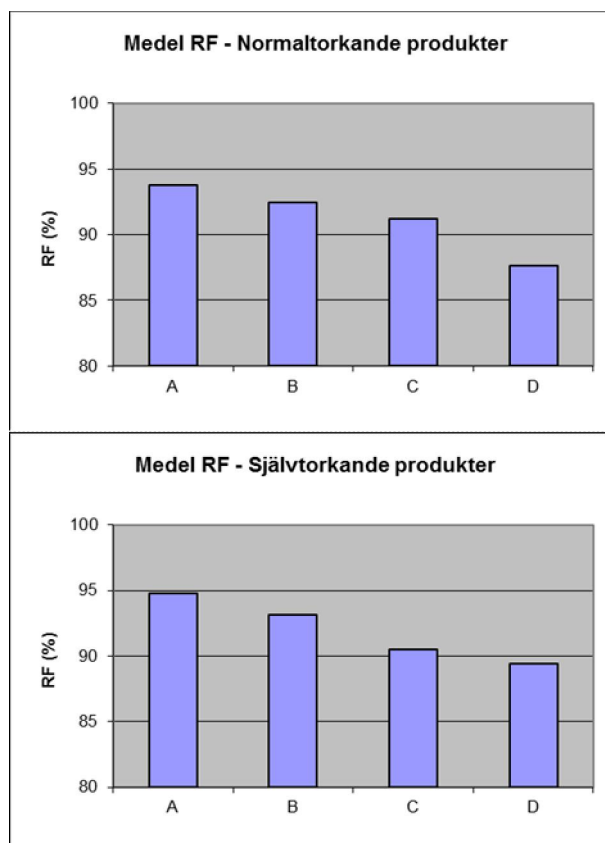
Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		



*Diagram 4: Varje stapel representerar medelvärdet av RF från uttagna prov för **alla 10 provformer** från samma läggningstillfälle A-D.*

Resultatet i diagrammet ovan visar att RF fyra månader efter gjutning är relativt hög. Om RF ska underskrida 90% får läggning ej ske tidigare än 4 veckor efter gjuttillfället.

Nedanstående diagram visar en jämförelse mellan normaltorkande och självtorkande avjämningsmassor.



Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		
		

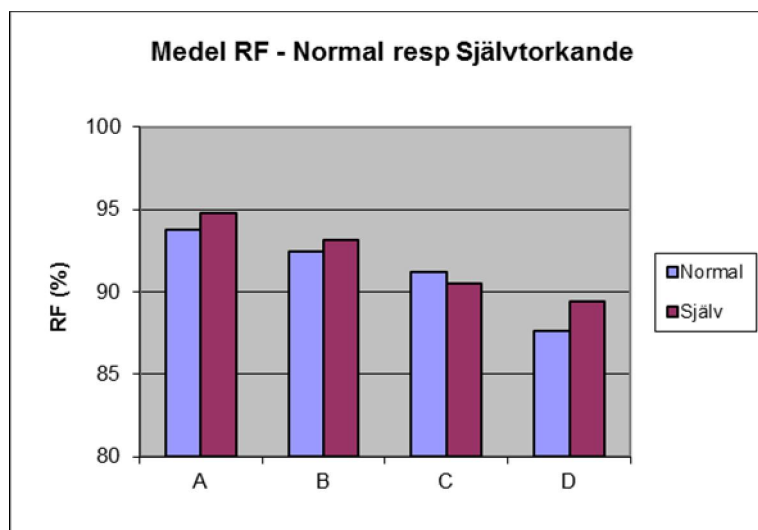


Diagram 5, 6 och 7: Varje stapel representerar medelvärdet av RF från uttagna prov för **5 provformar normaltorkande avjämningsmassa** respektive **5 provformar själtorkande avjämningsmassa** från samma lägnings-tillfälle A-D. Jämförelsen visar att det är marginella skillnader mellan olika typer av avjämningsmassor.

5.1.3 Fuktprofiler

Uttag av hel kärna togs från fyra provformar som skiktades i 5 nivåer. Syftet med provtagningen var:

- Kontrollera fuktprofilen vid uttorkning.
- Kontrollera ytskiktets RF 0-10 mm, som ligger i kontakt med stenbeläggningen.
- Få en uppfattning om hur ett prov uttaget från botten representerar genomsnittet av RF i kärnan.

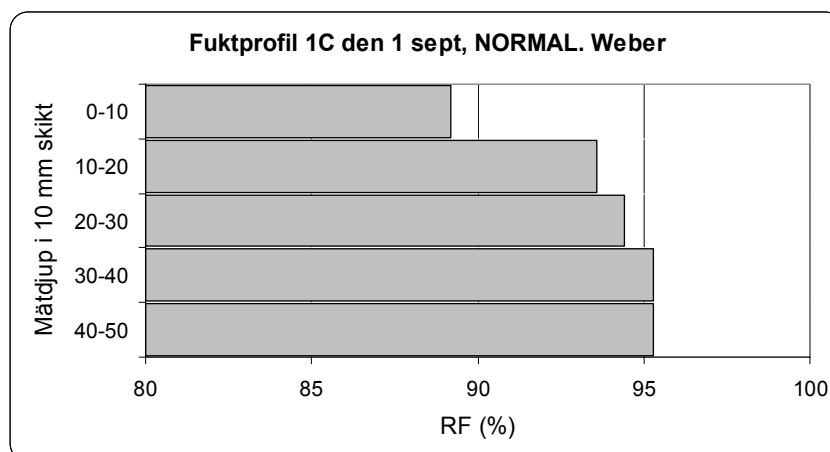


Diagram 8: Prov från fabrikat 1, normaltorkande, med sten lagd efter 4 veckor. Prov taget ca 3 månader efter stenläggning.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

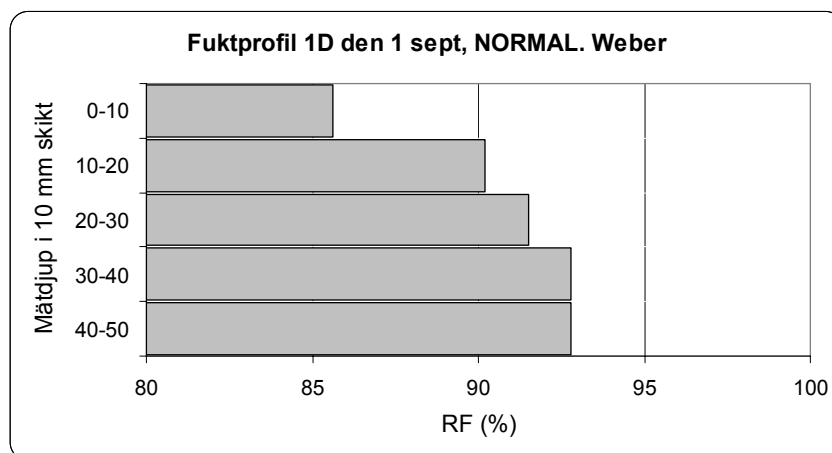


Diagram 9: Samma fabrikat som ovan, men med stenläggning efter 10 veckor. Prov taget ca 2 månader efter stenläggning.

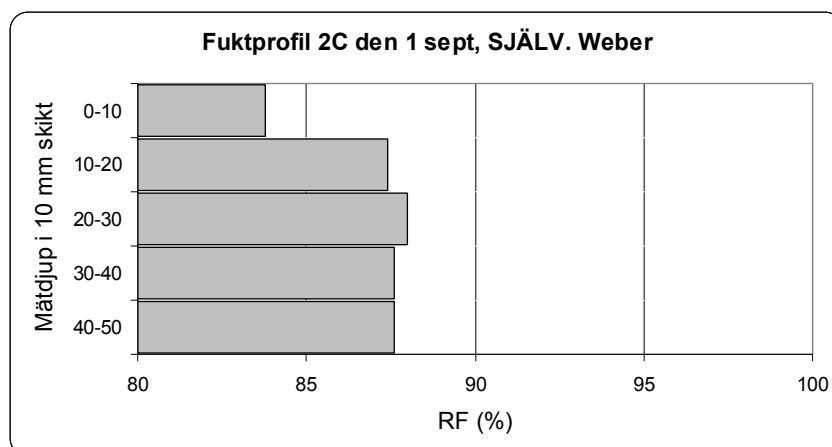


Diagram 10: Prov från fabrikat 1, självtorkande, med sten lagd efter 4 veckor. Prov taget ca 3 månader efter stenläggning.

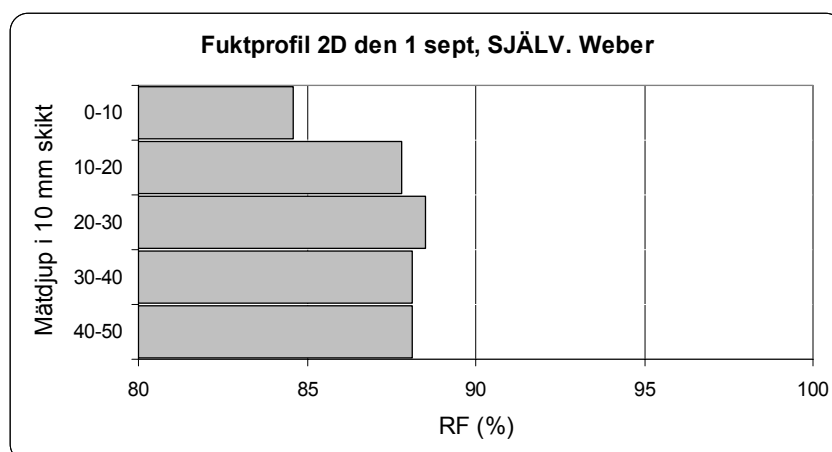


Diagram 11: Samma fabrikat som ovan, men med stenläggning efter 10 veckor. Prov taget ca 2 månader efter stenläggning.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Av diagrammen med fuktprofiler kan följande utvärdering göras:

- Normaltorkande avjämning har ca 4% RF lägre RF från 4v till 10v torktid.
- Självttorkande har relativt lika fuktprofil oavsett 4 eller 10 v torktid.
- Ytproven har generellt ca 5% lägre RF än provet under. Detta tyder på att fuktavgången genom stenbeläggningen är relativt stor.

5.2 Visuella förändringar

Serie A:

Efter ett par veckor noterades en tydlig vit/matt utfällning på flertalet av provkropparna. Den vita utfällningen ligger som ett lager ovanpå kalkstenen och färgar av sig vid beröring. Utfällningarna är vattenlösliga då de lätt kan torkas bort med fuktig duk.

Generellt är utfällningarna tydligare på de normaltorkade provkropparna, men det förekommer även kraftiga utfällningar på två av de självttorkande produkterna.

Resningar i ytan förekommer på de flesta proverna men graden varierar väsentligt. På en del av proverna har mindre flisor noterats.

Mätningar med indikeringsinstrument, fyra månader efter gjutning, visar:

- Normaltorkande: 125
- Självttorkande: 115

Serie B:

Resultaten skiljer sig inte mycket jämfört med den tidigare serien A. En tydlig vit/matt utfällning finns representerad på flertalet av proverna. Resningarna i ytan är generellt mer omfattande på tidigare serie A. Början till flisbildning har även noterats på ett par av proverna.

Mätningar med indikeringsinstrument, fyra månader efter gjutning, visar:

- Normaltorkande: 120
- Självttorkande: 100

Serie C och D:

Vid kontroll noterades inga generella förändringar i ytorna hos proverna i de två senare serierna C och D. Mindre gropar i ytan lokalt, har dock noterats för två av proverna.

Mätningar med indikeringsinstrument, fyra månader efter gjutning, visar:

- Normaltorkande: 100
- Självttorkande: 100

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

5.3 Bedömningsmatris

Efterhand som synliga skador noterats har provformarna dokumenterats. Slutresultatet fyra månader efter gjutning har en bedömning gjorts för respektive provform.

Bedömningen är ett försök att ge ett objektiva värde som kan korreleras mot fuktillstånd. Syftet är att finna samband mellan produkterna och RF-tillstånd/läggningstider.

Produkt	1N	2S	3N	4S	5N	6S	7N	8S	9N	10S	Summa serie
Serie A											
Utfällning	3	1	2	3	3	2	0	1	2	1	
Resning	3	1	2	3	2	3	1	0	1	2	
Skadeindex	6	2	4	6	5	5	1	1	3	3	36
Serie B											
Utfällning	2	1	2	3	3	2	0	1	2	0	
Resning	2	0	2	3	3	3	0	1	2	0	
Skadeindex	4	1	4	6	6	5	0	2	4	0	32
Serie C											
Utfällning	0	1	0	2	2	1	0	1	2	1	
Resning	0	0	1	0	2	1	0	0	2	0	
Skadeindex	0	1	1	2	4	2	0	1	4	1	16
Serie D											
Utfällning	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
Resning	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
Skadeindex	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	3
Summa per fabrikat för A-D	10	5	9	15	15	12	1	4	12	4	

Tabell 4: Bedömningsmatris för samtliga formar med "skadeindex".

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

Av tabellen ovan framgår också att fabrikaten gett upphov till stora variationer avseende noterade skador (raden längst ner). Fabrikat 7 och 8 har i princip inte gett upphov till några skador.

Stenläggning vid tillfälle A och B har totalt gett upphov till väsentligt mer skador än vid läggningstillfälle C och D. En sammanfattning av skadorna kan ses i diagram 12 där det framgår att bestående skador huvudsakligen uppkommit i serie A och B.

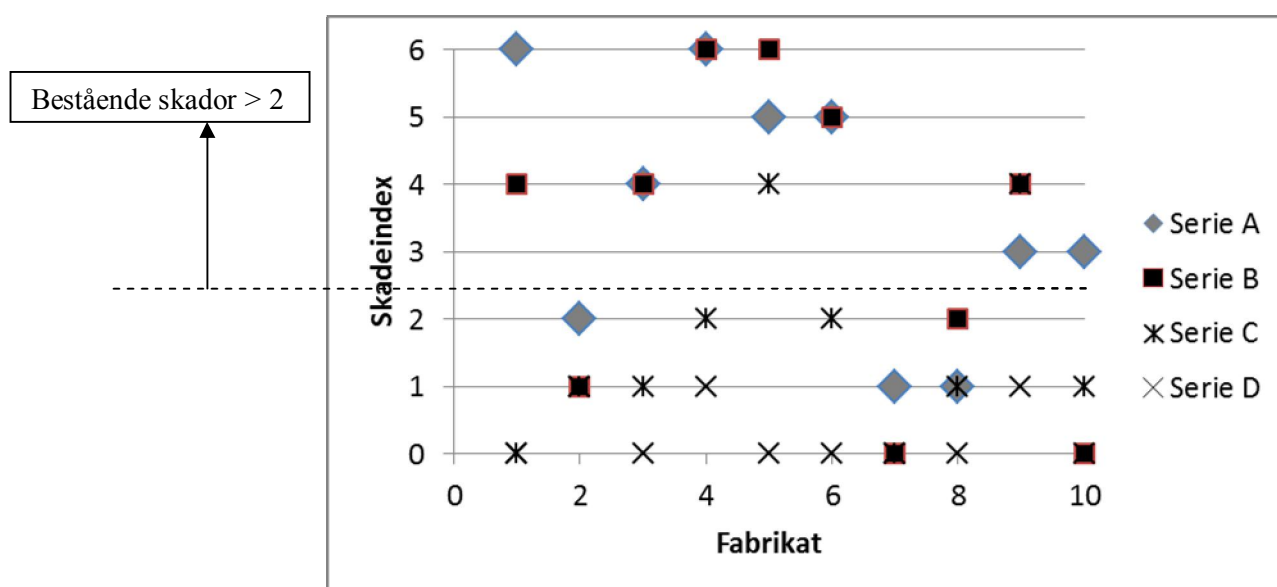


Diagram 12: Sammanställning av skadeindex för varje fabrikat. Skadeindex > 2 innebär att stenbeläggningen får synliga och bestående ytskador.

6 Utvärdering och slutsatser

6.1 Materialberoende

Avjämningsprodukternas sammansättning kan spela en avgörande roll i skadeförloppet. De ingående materialen/komponenterna skiljer sig åt samt i vilka proportioner de förekommer. Gemensamt för avjämningsarna är att pH-värdet anges ligga inom intervallet 10,5 – 11,5 för alla produkterna i uttorkad massa. Små variationer i alkali kan innebära skillnader i benägenhet att medföra skador på stenbeläggningarna.

Produkt nr 8 har exempelvis högre RF än prov 9 och 10. Trots detta ger produkt 8 inga bestående skador vilket fabrikat 9 och 10 gör. Orsaken kan vara skillnader i avjämningsarnas kemiska sammansättning.

Uppdragsnr: 10127016		
Daterad: 2011-01-31		

6.2 Fuktberoende

För att salter skall kunna transporteras till stenmaterialet krävs en kapillärkontakt mellan sten och avjämningsmassa och en RF som medger kapillärvandring. Denna gräns för kapillärvandring brukar anges ligga mellan 90 – 95% RF. Avtagande RF minskar möjligheten för kapillärvandring till stenmaterialet från avjämningsmassan. Transporten av salter/joner till stenmaterialet minskar och skadeförloppet avstannar.

Ett försök att undersöka vilken betydelse denna gräns har och vid vilken RF den uppkommer har gjorts genom att jämföra fuktnivån mot skadeindex 0 till 6. Skadeindex över 2 ger bestående skador.

I kommande diagram har skadeindex delats upp i fyra intervall med olika färgfyllning enligt:

Skadeindex 0: motsvarar ingen fyllning

Skadeindex 1-2: motsvarar ljusgrå fyllning

Skadeindex 3-4: motsvarar mellangrå fyllning

Skadeindex 5-6: motsvarar mörkgrå fyllning

6.2.1 Fuktindikering mot skadeindex

Fuktindikering gjordes mot stenbeläggningens yta med indikatorinstrument Gann Uni-1 ca 4 månader efter gjutning.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Stenläggning	Medel
Serie A	130,00	120,00	125,00	130,00	130,00	125,00	120,00	100,00	130,00	120,00	2 dygn	126,43
Serie B	130,00	105,00	125,00	125,00	125,00	120,00	105,00	100,00	130,00	100,00	1 v	125,63
Serie C	95,00	95,00	120,00	110,00	120,00	115,00	95,00	95,00	125,00	95,00	4 v	105,71
Serie D	90,00	90,00	100,00	100,00	110,00	105,00	95,00	90,00	115,00	95,00	10v	98,18

Tabell 5: Samband fuktindikering och skadeindex.

Provformar som uppvisar värden över 120 med Gann har generellt ett skadeindex över 2 och har bestående ytskador. Mätningen är endast indikativ men ger en tydlig bild över sambandet mellan hög fuktnivå och skadeförekomst.

6.2.2 RF i borrhål mot skadeindex

RF som loggades kontinuerligt under mätperioden avlästes slutligen efter ca 4 månader. Dessa värden har sammanställts nedan och jämförts med skadeindex.

Uppdragsnr: 10127016	
Daterad: 2011-01-31	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Stenläggning	Medel
Serie A	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	2 dygn	100,00
Serie B	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1 v	98,46
Serie C	100,00	89,86	99,18	100,00	98,04	100,00	85,91	85,60	89,66	88,28	4 v	95,30
Serie D	92,85	89,72	88,69	100,00	96,21	95,82	82,26	82,90	81,52	87,83	10v	92,04

Tabell 6: Samband fuktmätning i borrhål och skadeindex.

RF-värdena från fuktmätning i borrhål är som tidigare nämnts inte säkerställda. Mätfel förekommer pga fuktgivarnas drift då de utsatts för RF > 95%. Resultaten tydliggör dock sambandet mellan hög fuktnivå och skadeförekomst.

6.2.3 RF i uttagna prov mot skadeindex

Uttagna prov från samtliga provformer har sammanställts nedan och jämförts mot skadeindex.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Stenläggning	Medel
Serie A	97,10	92,60	97,20	96,60	97,90	97,40	85,30	95,70	91,50	91,50	2 dygn	96,89
Serie B	95,20	91,40	96,80	96,60	95,60	97,00	84,00	94,50	90,70	86,40	1 v	93,15
Serie C	94,00	87,70	94,00	95,20	93,80	94,30	84,50	87,10	88,50	88,40	4 v	90,79
Serie D	90,90	88,20	89,70	94,70	90,90	94,60	82,60	83,00	82,00	86,70	10v	87,94

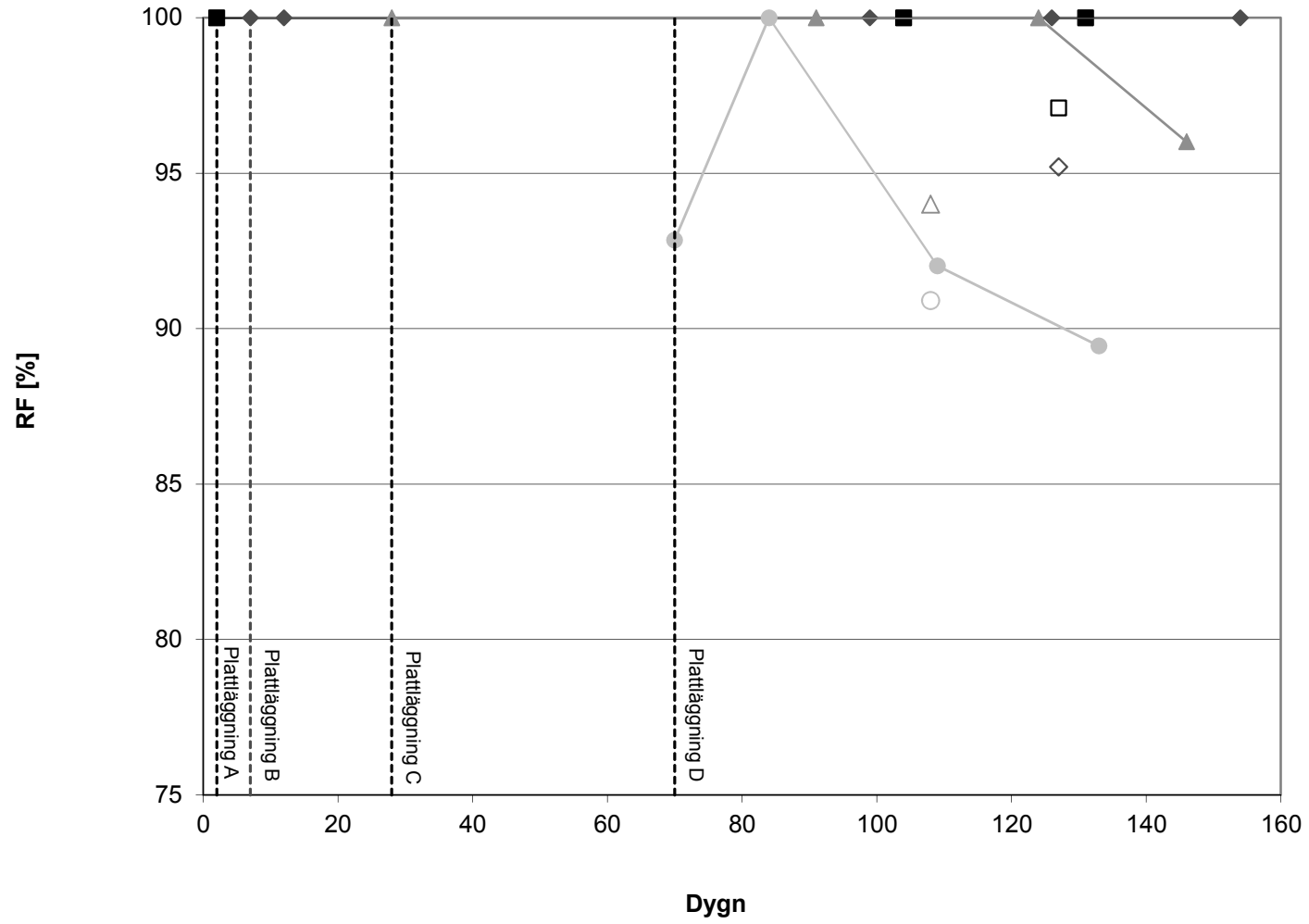
Tabell 7: Samband fuktmätning i uttaget prov och skadeindex.

De säkraste fuktmättningsresultaten är RF-mätningen på uttagna prov. Värdet anger RF i avjämningsmassans underkant (mät djup 30-50 mm) 4 månader efter gjuttillfället. Stenläggning har utförts vid de olika tidpunkter som tidigare redovisats för serie A till D.

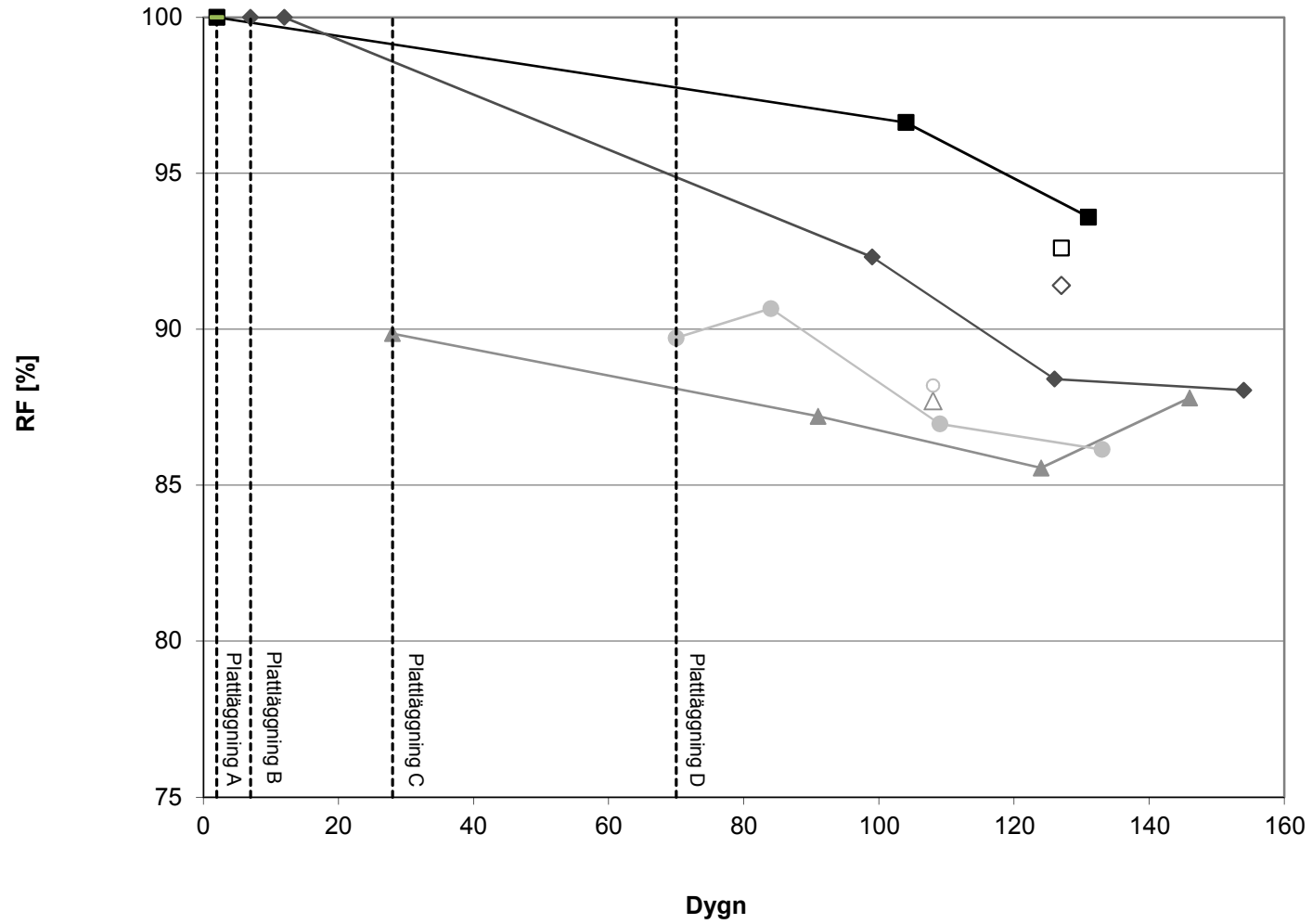
Vid beräkning av medelvärde för RF för samtliga fabrikat framgår tydligt att gränsen för uppkomst av bestående skador finns mellan 91 - 93% RF. Vilken RF stenbeläggningen som högst utsatts för i kontakten med avjämningsmassan under den närmaste tiden efter läggning framgår ej av dessa resultat. Dock kan en RF mätning som görs i fält inom 3 månader efter stenläggning avgöra om uppkomna skador är orsakade av en alltför fuktig avjämningsmassa.

Resultaten tyder på att kalkstensbeläggningar inte skall läggas på avjämningsmassa med RF > 90%. Därmed bör kritisk RF för kalkstensbeläggningar på avjämningsmassa vara 90%.

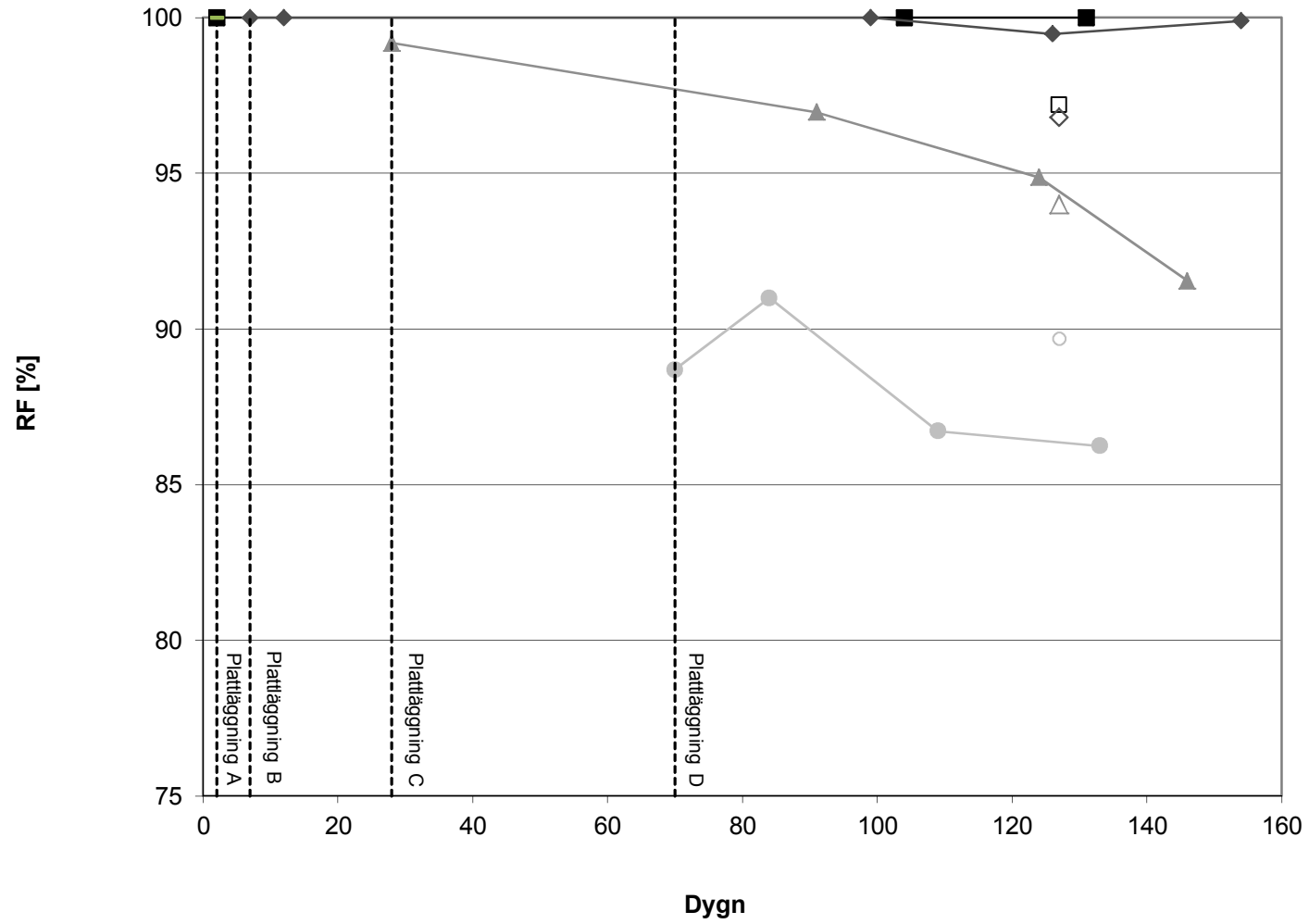
Fabrikat 1



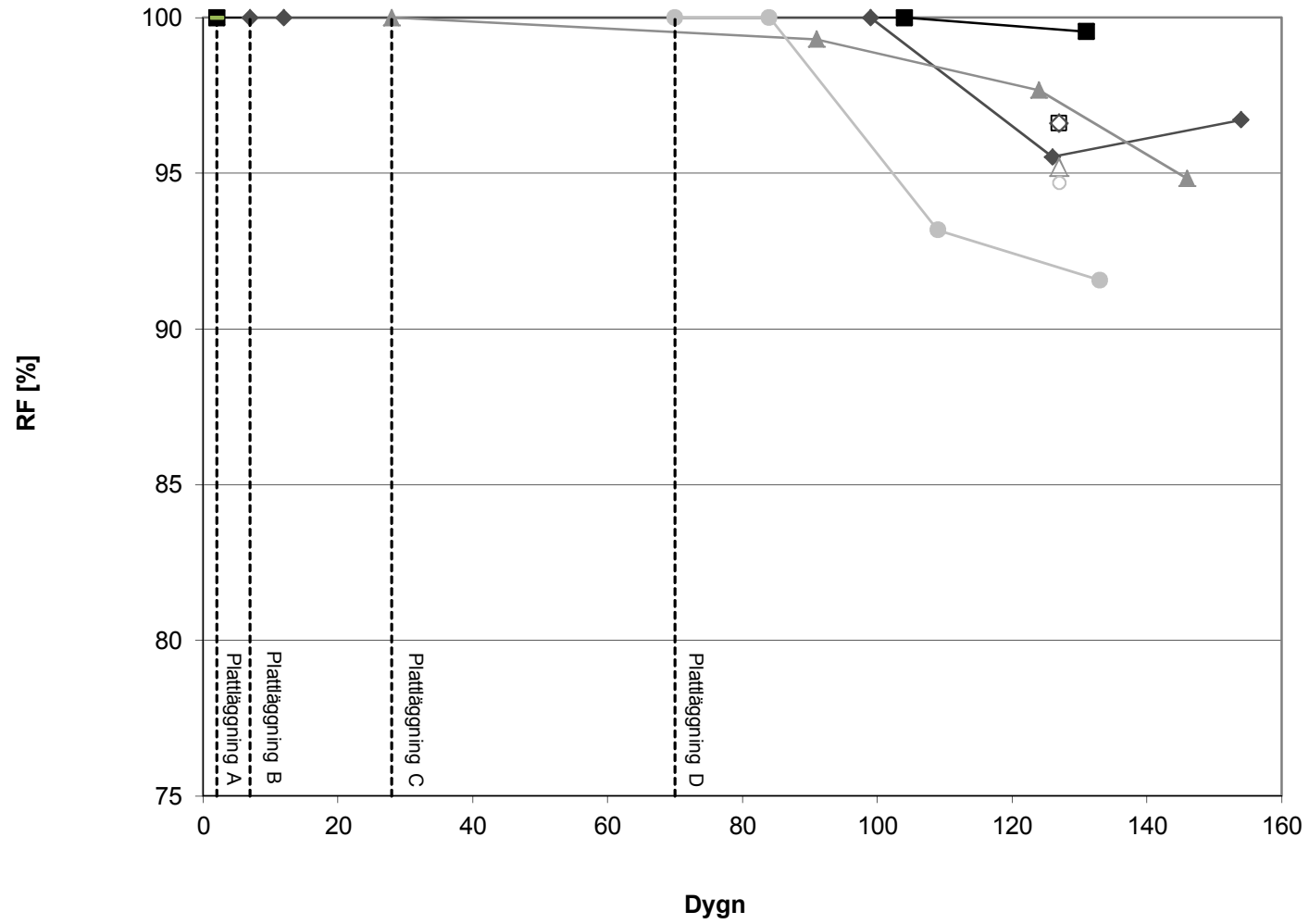
Fabrikat 2



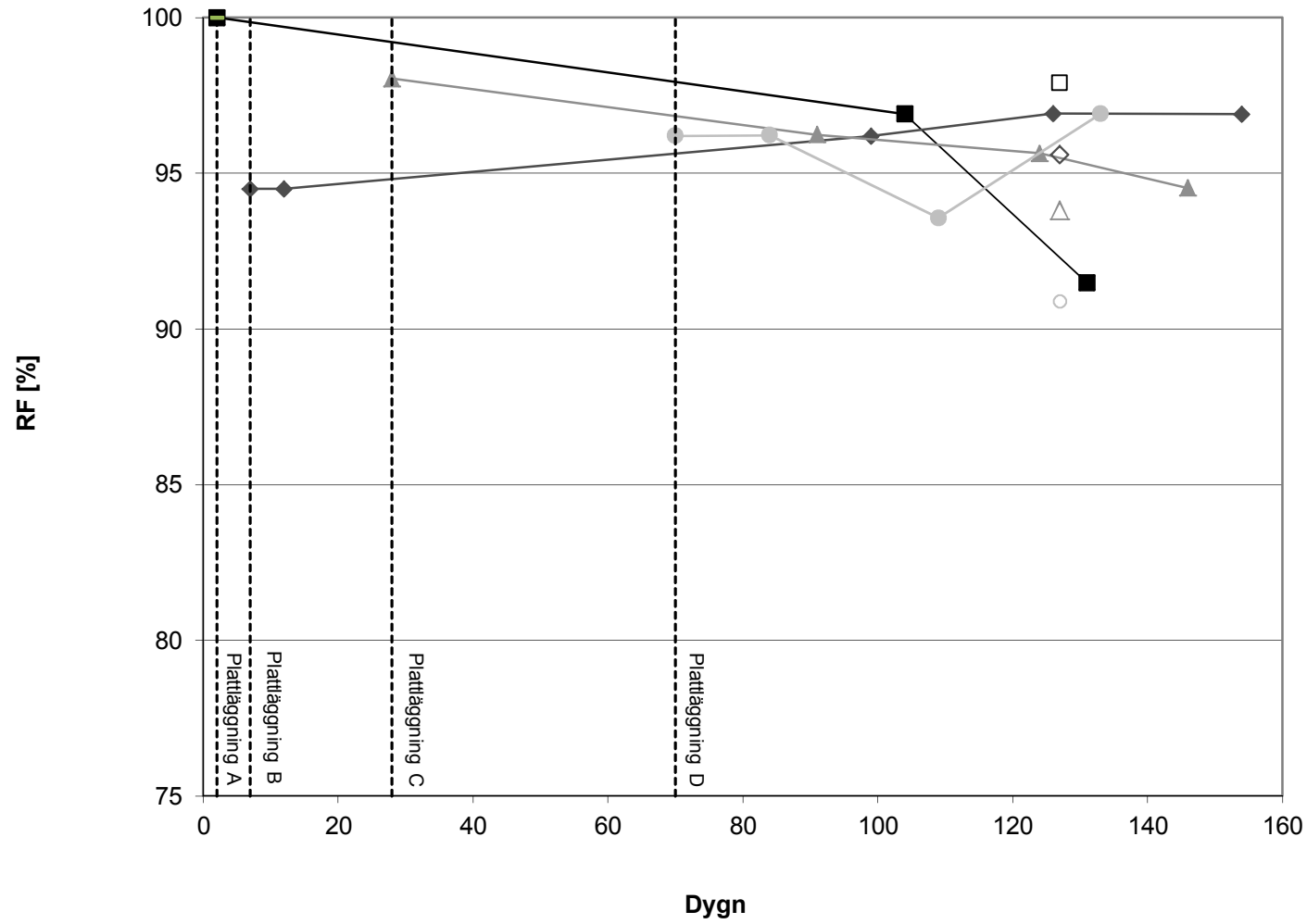
Fabrikat 3



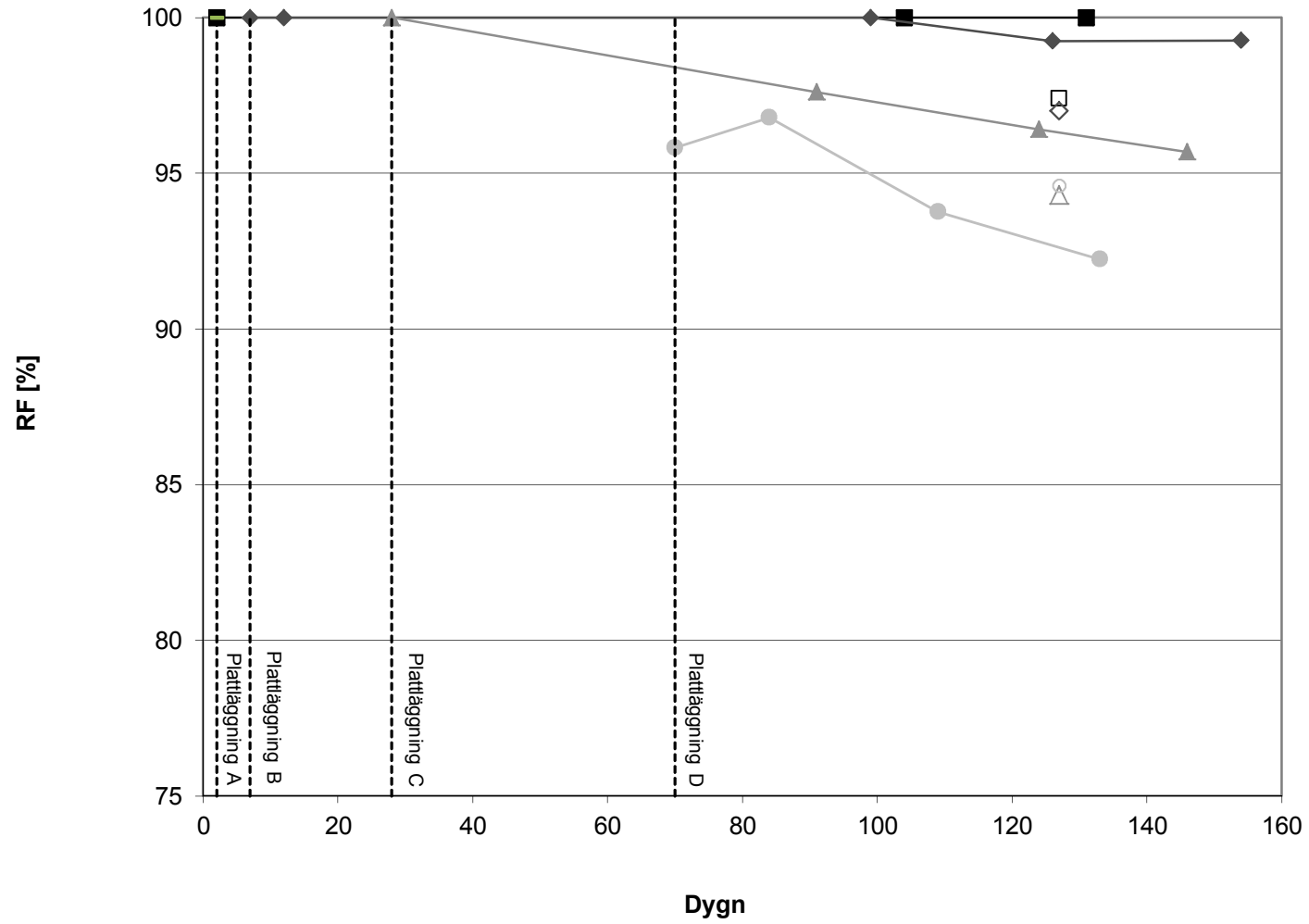
Fabrikat 4



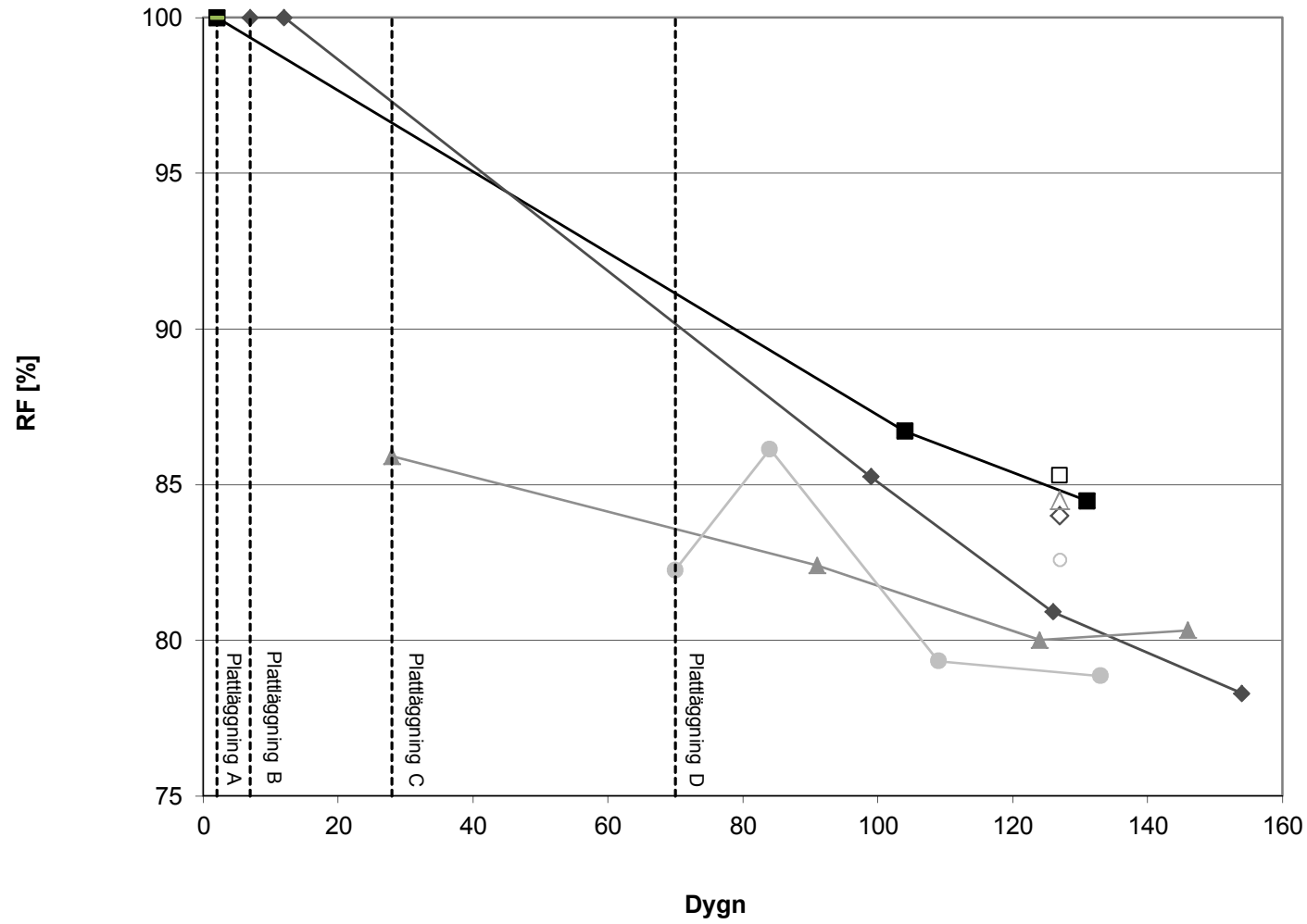
Fabrikat 5



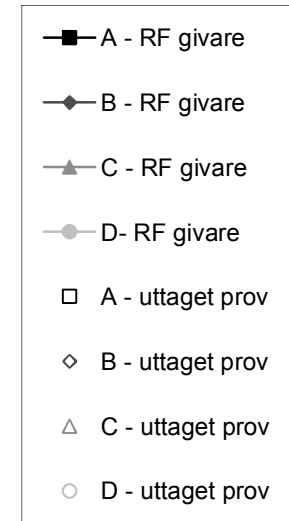
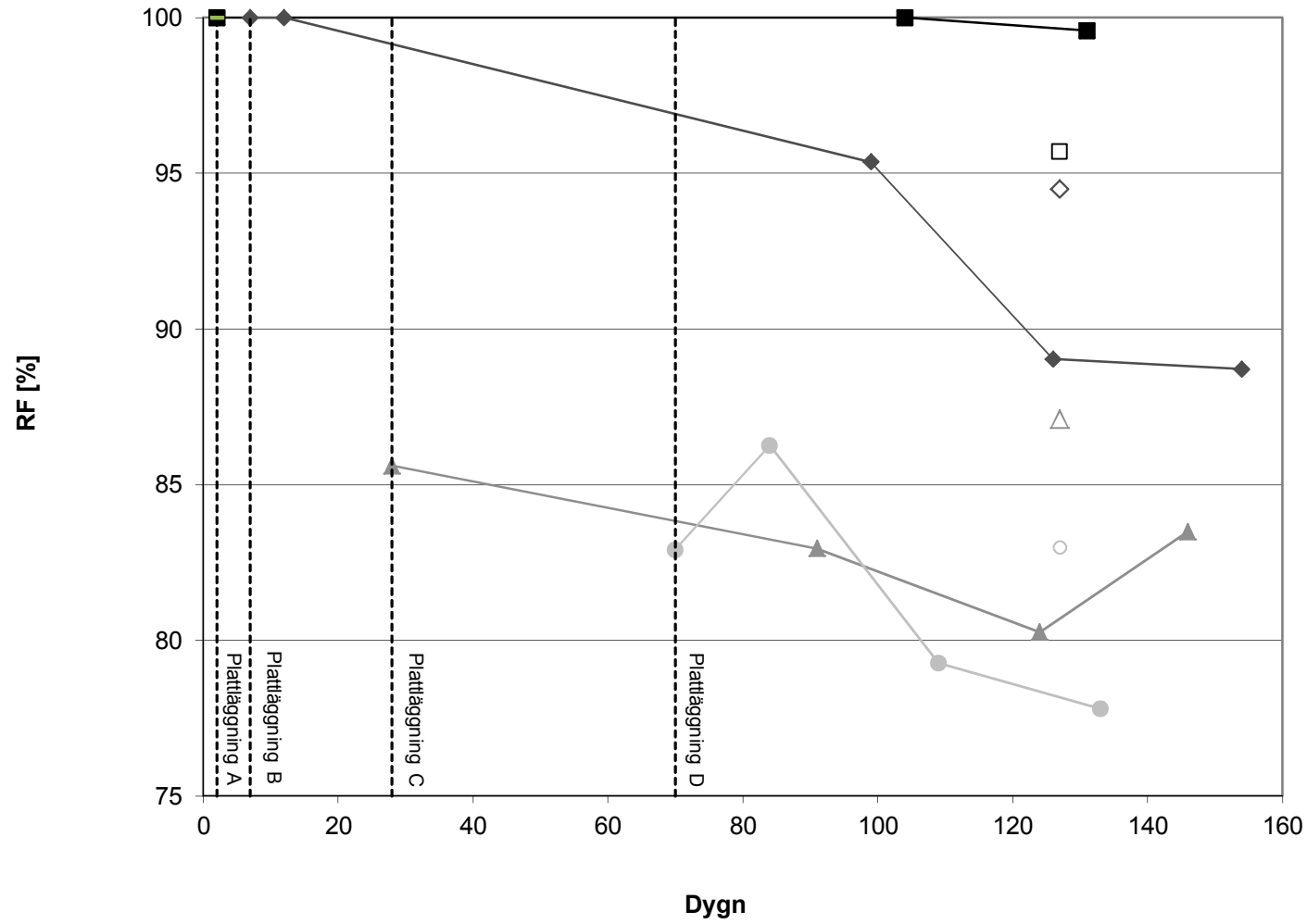
Fabrikat 6



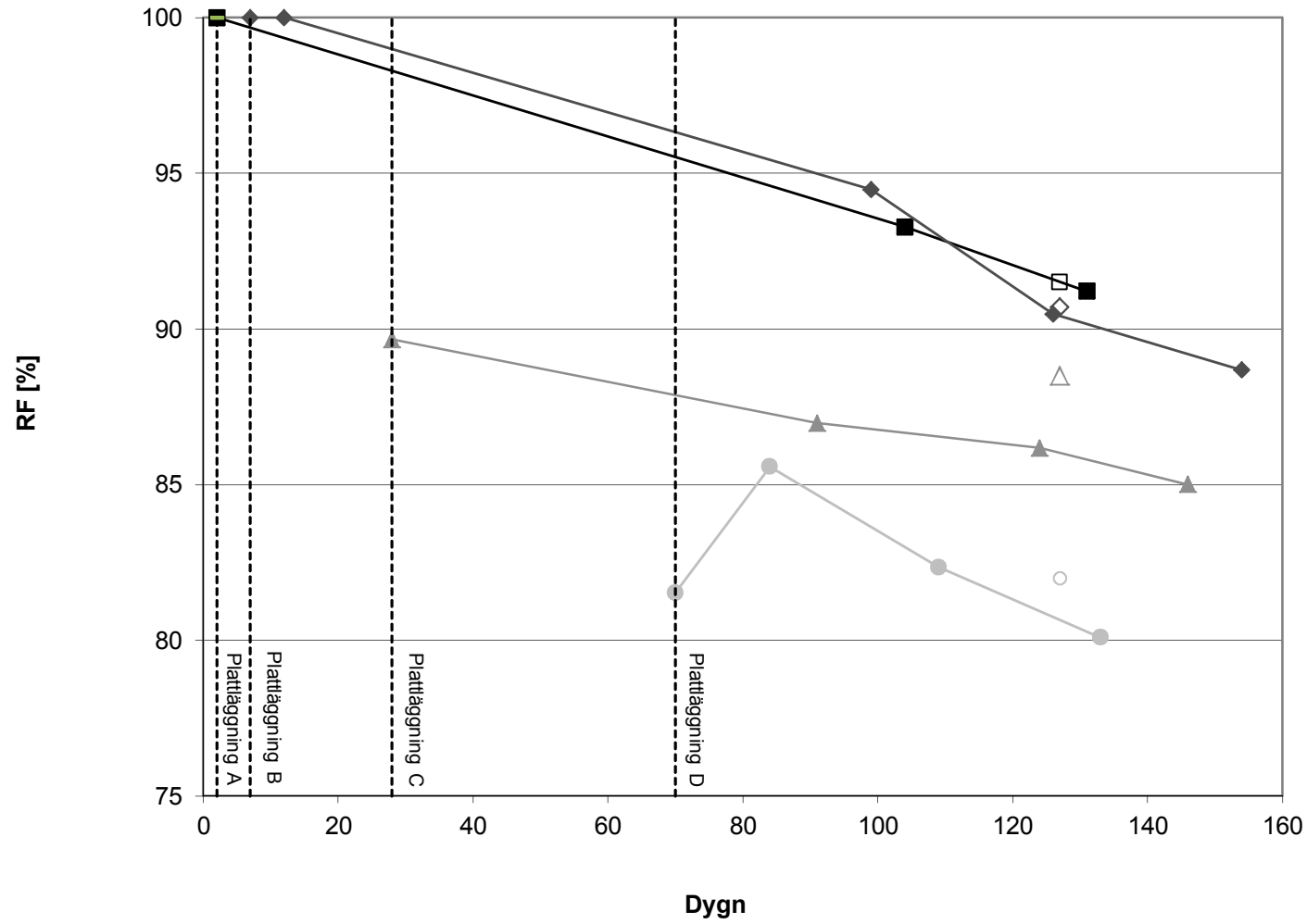
Fabrikat 7



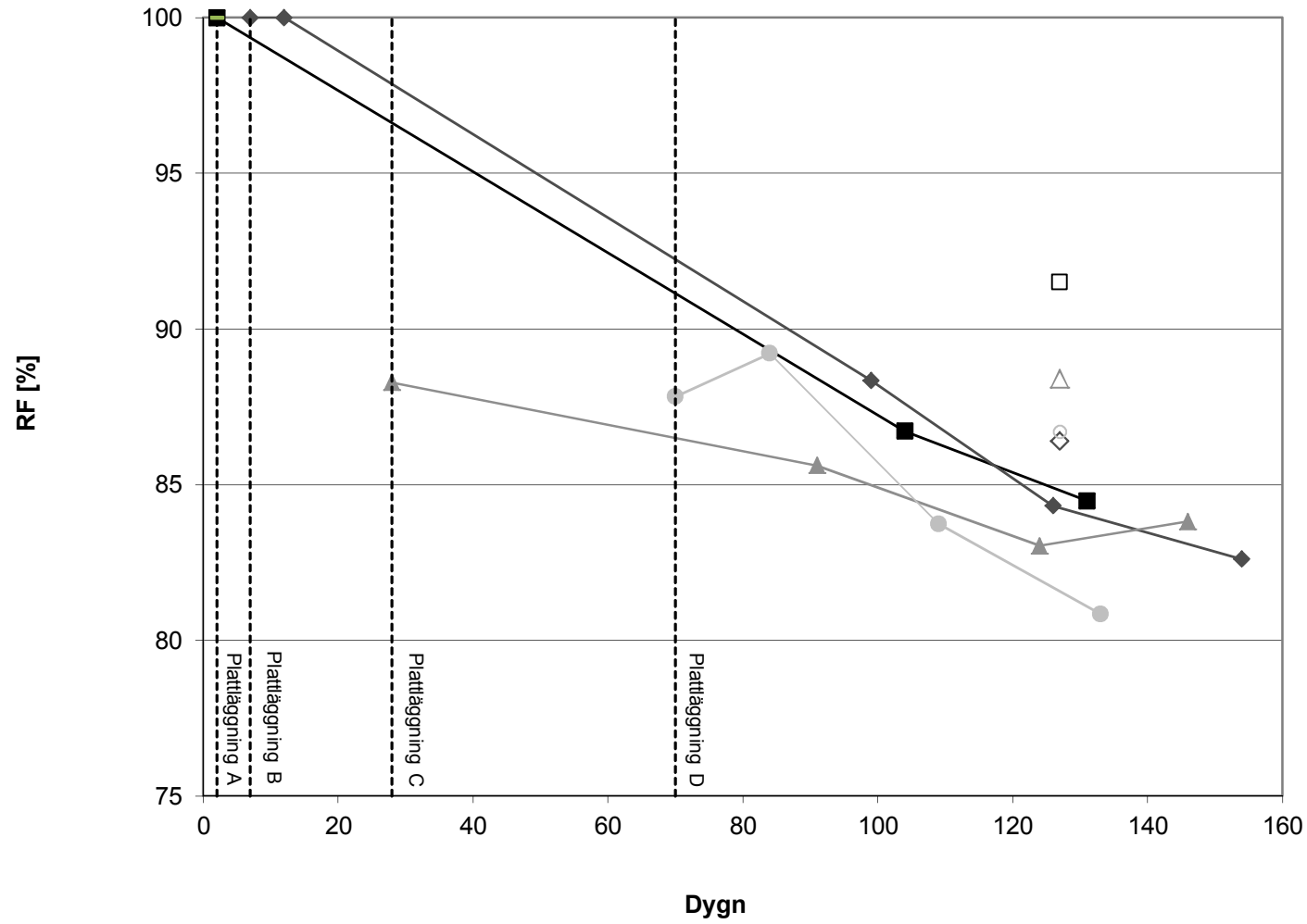
Fabrikat 8



Fabrikat 9

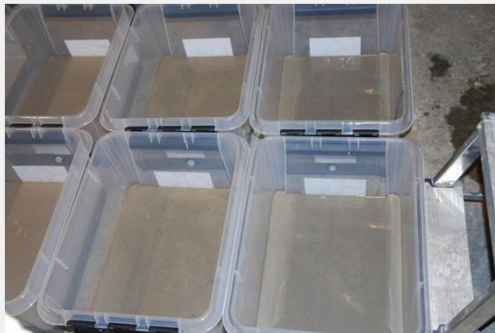


Fabrikat 10



Kalkstensbeläggningar på avjämningsmassa

Jörgen Grantén, Daniel Andersson



Uttag av borrhärlar för fuktprofilbestämning

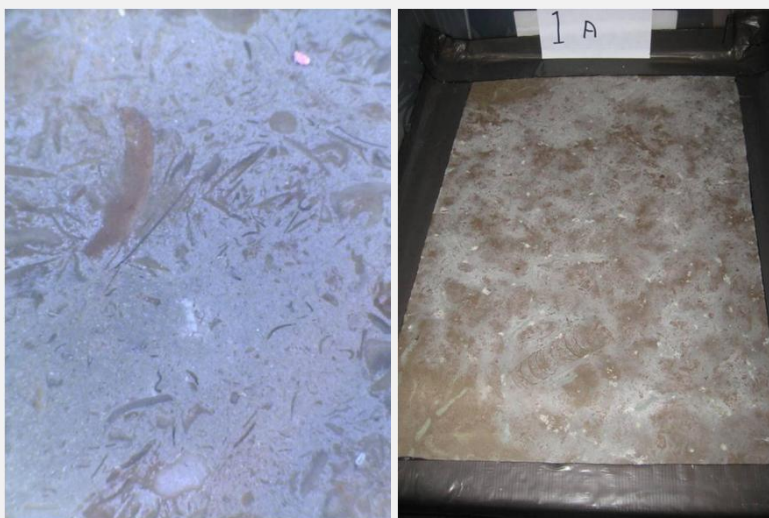


Skadetypp 1: Bestående utfällningar



WSP

Skadetypp 2: Avtorkningsbara saltutfällningar

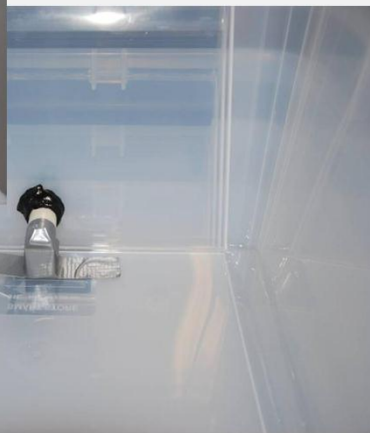


WSP

Förberedelser, inköp



Montering av mätrör



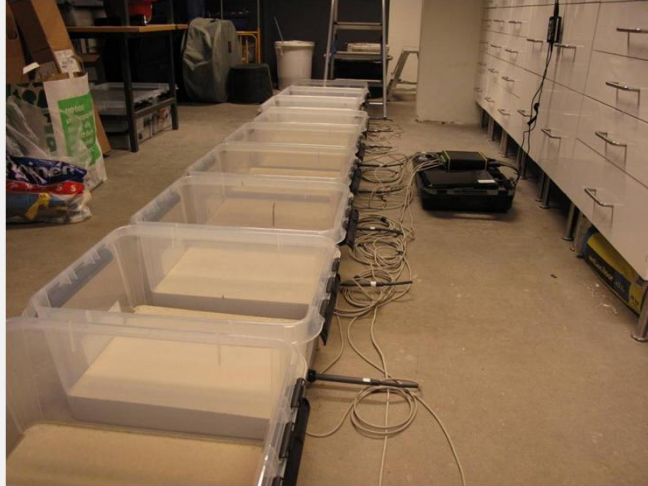
Gjutning



Förvaring av provformar



Loggning av RF, borrhålsmätning



Uttag av RF-prov från undersidan



Exempel på provform
med skadeindex 6:

- Bestående skador
(Saltutfällning och ytskador)



Exempel på provform
med skadeindex 4:

- Bestående skador
(Saltutfällning och ytskador)



Exempel på provform
med skadeindex 2:

- Ej bestående skador



Exempel på provform
med skadeindex 0:

- Inga skador

