

MinBaS Innovation – Ett Vinnovaprojekt

Mineral•Ballast•Sten - Insatsområde 2: Ökad användning av svensk natursten- Innovativa system för effektivare byggande av säkra naturstensfasader

Laboratorieprovning

Fasadsten monterad i fästmassa



Rapportansvarig: Björn Schouenborg och Magnus Döse, RISE

Borås, 2018

Vinnovaprojekt 2015-02514

Omslagsfoto visar vidhäftningsprovning mellan natursten, fästmassa och murblock av lättklinkerbetong hos RISE CBI's provningslaboratorium i Borås

Sammanfattning

Denna del av projektet Innovativ dimensionering av naturstenfasader har haft som målsättning att utvärdera existerande internationell provningsstandard för vidhäftning mellan klinker, fästmassa och underlag (vanligen betong) och där så är nödvändigt modifiera för naturstensmaterial. Standarden heter EN 1348:2007 *Fästmassor för keramiska plattor – Bestämning av draghållfasthet för cementbundna fästmassor* [1].

Det vanligaste underlaget för denna typ av montering är betong. I Sverige förekommer även en del andra underlag. Murblock av lättklinkerbetong har därför också bedömts relevant i ett första steg. Den genomförda State-of-the-art studien indikerar ett antal olika problemorsaker vilka kondenserats ned till ett lämpligt antal provningsvariationer om 4 stensorter och 3 olika klimatbelastningar som jämfördes med en referens utan accelererad klimatbelastning.

En svart diabas, en granitlik, ljus bergart, en kalksten och en skiffer provades efter åldring med värme, frost respektive vattenlagring. Resultaten indikerar att samtliga kombinationer klarar baskraven på minst 0,5 MPa i vidhäftning/draghållfasthet (SS-EN 12044:2007 *Fästmassor för keramiska plattor – Krav, utvärdering av överensstämmelse, klassifikation och beteckning* [2]).

Samtliga variationer klarade även det högre kravet på 1 MPa. I de flesta fall uppstod vidhäftningsbrott mellan fästmassan och underlaget, dvs betong och lättklinkerbetongblock. I fallet med skiffer uppstod brottet i en del fall i klyvplan inne i skiffern. I kombination med lättklinkerbetongblock uppstod även många brott inne i lättklinkerblocket.

Den standardiserade provningsmetoden bedömdes som lämplig i de flesta avsnitt även om vissa ändringar rekommenderas.

För att undersöka inverkan av exponering i utomhusmiljö under längre tid installerades en fältprovplats med de fyra stensorterna och samma fästmassa som i laboratorieförsöken. Fältexponeringsplatsen kommer att verka under flera år framöver och utvärderas årligen med, i första hand, hjälp av icke förstörande teknik.

Resultat från projektet kommer att inarbeta i kommande revision av Stenhandbokens fasadhäfte [3].

Summary

The aim of this part of the project *Innovative dimensioning of natural stone* is to evaluate if the European standard for adhesives for tiles may also be used for natural stone tiles as it is or needs amendments. The European standard of interest is EN 1348:2007 *Adhesives for tiles – Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives* [1].

The most common substrate for this type of installation system is concrete which was chosen as the reference substrate. Several other types of substrate exist in Sweden but it was only financially possible to include one more. Aggregate concrete masonry units made of lightweight aggregates were also found relevant to evaluate.

The State-of-the-art indicates several possible causes of problems with this installation system. To evaluate most of them it was decided to include the following stone types and accelerated exposure in the test program: Black diabase, light granitoid, limestone and schist and the following 3 different climatic loads: water storage, freeze-thaw cycling and heat exposure.

The results indicate that all combinations fulfilled the basic requirement of 0,5 MPa adhesion strength according to EN 12044 *Adhesives for tiles – Requirements, evaluation of conformity, classification and designation* [2]. All of them also superseded the higher requirement of 1 MPa. In most cases there was adhesion failure between the adhesive and the substrate. In the case with light weight concrete blocks there was also cohesive failure in the substrate. Failure also occurred within the cleavage planes of the schist.

The standardized test procedures were found to work well in most parts, with minor amendments.

To evaluate the long term outdoor exposure performance, the project also installed a field exposure test site including the same four stone types and adhesive as in the laboratory tests. The field test site will continue to operate for several years and be assessed, primarily, with non-destructive techniques on an annual basis.

Results from this project will be incorporated in the coming revision of the Swedish Stone handbook - Facade part [3].

Innehållsförteckning

Sammanfattning	1
Summary	2
Förord	5
1 Introduktion	6
2 Deltagande företag	7
3 Metodik	8
3.2 Beslutsgång - Laboratorieprovningar	8
3.2 Fältprover	9
4 Utrustning och provmaterial	10
4.1 Provningsutrustning	10
4.2 Stenmaterial	11
4.2.1 Utsågade provkroppar från inskickat material	13
4.3 Fästmassa	13
5 Provningar och accelererad klimatpåverkan	15
5.1 Provberedning	15
5.2 Accelererad klimatpåverkan/åldring	17
5.2.1 Referens	17
5.2.2 Frys-töväxling	18
5.2.3 Värmepåverkan	18
5.2.4 Vattenlagring	19
5.3 Provningsutförande med dragprovutrustning från Testing	20
5.4 Resultat	20
5.4.1 Draghållfasthet/Vidhäftning	20
5.4.2 Brottökriterier	22
5.4.3 Mätosäkerhet	23
5.5 Fältexponering	24

6 Diskussion av resultat	26
6.1 Draghållfasthetsprovning/ vidhäftning	26
6.2 Brottkriterier	26
6.3 Mätosäkerhet	26
7 Resultat och sammanfattning	27
8 Nyttiggörande och resultat effekter	28
9 Referenser	29
10 Bilagor	30

Förord

Projektrapporten redovisar resultatet av samarbetet mellan RISE CBI och ett antal medlemsföretag till Stenindustriförbundet (se nedan), fristående stenproducerande företag, stenmonteringsföretag och tillverkare av fästmassor.

Vi vill passa på att tacka samtliga deltagare för alla bidrag! Projektet är samfinansierat av Vinnova, MinBaS Innovation och deltagande organisationer.

Deltagare:

- RISE CBI: Björn Schouenborg & Magnus Döse
- Stenutveckling: Christer Kjellén
- Närkesten: Mikael Medin
- Mineraskiffer: Terje Holstad
- Ardex: Björn Hellman
- PCI/BASF: Göran Sanderoth
- RISE/SP: Per-Anders Johansson
- Emmaboda granit*: Joakim Steen
- Stenentreprenader: Anders Einarsson
- Mapei, Norge

* Vid tiden för arbetet var Emmaboda Granit fortfarande ett eget företag och presenteras därför som detta i denna rapport. Företaget ingår sedan 1:e juli 2016 i AP Stengruppen.

Björn Schouenborg & Magnus Döse

Borås
2018-01-29

1 Introduktion

Rapporten bygger på ett samarbetsprojekt mellan Sveriges stenindustriförbund (STEN), enskilda medlemsföretag och RISE CBI Betonginstitutet AB. Arbetet är en del i det Vinnovasponsrade programmet MinBaS Innovation, insatsområde 2: Ökad användning av svensk natursten- Innovativa system för effektivare byggande av säkra naturstensfasader.

Syftet med arbetet redovisat i denna rapport är att undersöka om provningsmetoden för draghållfasthet mellan fästmassa och klinkerplattor är lämplig att använda även för natursten och vilka förändringar som eventuellt är måste göras.

Om det visar sig att montering av stenplattor i fästmassa betraktas som en säker metod så kan det i förlängning skapa utökade möjligheter för stenindustrin. Även andra som monterar liknande produkter gynnas. Med tunnare fasader kan användningsytan hos fastigheter i städerna bättre utnyttjas. I våra storstäder är det ofta konflikt med närliggande fastigheter vid nybyggnation och ombyggnation. Tunnare fasader ger ökade möjligheter vid både nybyggnation och renovering.

Ett annat moment i projektet har varit att sammanställa branschens erfarenhet om detta monteringsystem och orsaker till de fel som observerats. Det arbetet beskriv i en separat State-of-the-art rapport.

Parallellt med detta projekt har ett internationellt samarbete bedrivits där andra länders kravsystem inventerats. Detta har bedrivits inom ramen för *CEN TC 246 WG 2 Natursten/arbetsgruppen för provningsmetoder* och *EUROROC's Stone expert's network*.

2 Deltagande företag

Följande stenproducenter har deltagit i projektet: Emmaboda Granit AB, Borghamnsten AB, Borghamns Stenförädling AB samt Minera Skiffer. Konsultfirman Stenutveckling AB har koordinerat arbetet med att sammanställa erfarenheter och skapa riktlinjer för användning

Vidare har monteringsföretag deltagit: Närkesten samt tillverkare av fästmassor: Ardex, PCI/BASF och Mapei, Norge.

Projektet har därför haft tillgång till kompetens inom såväl tillverkarled, burkarled, laboratorieprovning och standardisering.

Stensorterna som har valts ut representerar huvuddelen av svenska bergarter producerad av svenska stenindustrin [3]. Stensorterna och bergarterna presenteras i tabell 4.1.

- RISE CBI: Björn Schouenborg & Magnus Döse
- Stenutveckling: Christer Kjellén
- Närkesten: Mikael Medin
- Mineraskiffer: Terje Holstad
- Ardex: Björn Hellman
- PCI/BASF: Göran Sanderoth
- RISE/SP: Per-Anders Johansson
- Emmaboda granit*: Joakim Steen
- Stenentreprenader: Anders Einarsson
- Mapei, Norge: Alf Ruud

* Vid tiden för arbetet var Emmaboda Granit fortfarande ett eget företag och presenteras därför som detta i denna rapport. Företaget ingår sedan 1:e juli 2016 i AP Stengruppen.

3 Metodik

3.2 Beslutsgång - Laborieprovningar

Arbetsmetodikens huvudsteg var att baserat på utvärdering av projektgruppens erfarenheter och insamlad information välja lämpliga stensorter som representerar så stort urval som möjligt, välja fästmassa bland de tre deltagande tillverkarna, välja underlag som representerar vanligt förekommande byggnadsstommen, välja exponeringsmiljöer relevanta för framför allt nordiskt klimat samt välja provningsmetod/-standard och relevanta avvikelser.

Projektet utgick primärt ifrån den Europeiska standarden för vidhäftningsprovning av klinker ihop med cementbaserad fästmassa [1] och standarden för krav och utvärdering [2].

Som betongunderlag, vilket är den mest förekommande varianten i Sverige, användes betongplattor tillverkade enligt standarden. Dessutom valdes murblock av lättklinkerbetong som ett extra underlag.

Provningsstandarder anger tre olika exponeringssituationer: Frys-töcykling, vattenlagring och värmepåverkan i 70 °C. Samtliga bedömdes relevanta för Svenska förhållanden och bestämdes ingå i utvärderingen. Se mer i kapitel 5. Resultaten jämfördes med vidhäftning utan klimatpåverkan.

För att skapa så realistiska förhållanden som möjligt deltog Närkesten vid tillverkning av provkroppar och även vid montering av plattor på fältexponeringsunderlagen (kapitel 4).



Figur 3.1. Applicering av fästmassa på betongunderlag i CBIs lokaler.

Resultaten har diskuterats på arbetsmöten och ihop med Sveriges Stenindustriförbunds tekniska kommitté innan slutsatserna i denna rapport fastställdes.

3.2 Fältprover

Den mest naturliga frågan då man diskuterar accelererad klimatbelastning är hur många år detta motsvarar. Det enkla svaret är att "det vet ingen" och att "det beror på". För vissa typer av accelererade åldringsprovningar är det konstaterat att det är i den första delen av provningen (5 – 10 cykler) som det ofta visar sig om ett material är beständigt eller ej. I detta fall saknar vi tillräckligt med erfarenheter för att kunna uttala oss på det viset.

Det går aldrig att säga exakt hur många år en accelererad åldring motsvarar men den är tänkt att visa om ett material är beständigt eller inte. Hur det blir i en konstruktion beror bland annat på i vilken miljö konstruktionen befinner sig och vilken typ av applikation det rör sig om. I detta fall är det fasadmaterial och en bit ovan mark vilket gör att det inte är relevant att prova med tölsalter. Ligger konstruktionen nära havet kan det ändå finnas ett sådant behov.

Projektgruppen kom därför överens om att starta en långtidsprovning i en mer realistisk miljö (aktuellt och extra tufft Boråsklimat) alldeles oavsett om svaren kan komma om ett par eller 20 år.

4 Utrustning och provmaterial

4.1 Provningsutrustning

Vidhäftningsprovning utförs med en dragprovningssutrustning, benämnd Adhesion Tester tillverkad av företaget Testing GmbH i Tyskland. Provmaskinen förankras centralt över provobjektet (se försättsblad). En fastlimmad klack används mot provunderlaget vilken fästs in genom en ledad skruvanordning till provutrustningens centralaxel, vilken överför dragkraften vid provning. Provutrustningen drar sedan med en belastning om 250 N/s tills objektet brister i underlaget, fästmassan eller i naturstensmaterialet eller mellan provklack och lim.



Figur 4.1a, b, c. Från vänster till höger illustrerar (a) provdragningsutrustning, (b) värmeskåp från Termak, (c) klimatanläggning för frös- och tö cykling.

Använt klimatskåp för värmebelastning kommer från norsktillverkade Termak (figur 1b) och har haft en förinställd temperatur på 70° Celsius vid klimatbelastning. Proverna behandlades under 2 veckor. Därefter utfördes dragprovning efter 24h i normal temperatur.

Klimatskåpet för cykling mellan frost och töklimat (figur 4.1c) är utvecklat på SP/RISE. En cykling av temperatur innebär att proverna placeras i en rostfri stål-kammare där vatten kan fyllas på och tappas ut. Vid frostprovning belastas vattenmättade prover ned till en temperatur om -18°C under några timmar, där temperaturen sedermera får övergå till 20°C i några timmar. Temperaturen stiger när stål-kammaren fylls med vatten och befintliga prover blir omslutna av vatten. Efter några timmar tappas vattnet ut i takt med att temperatur återigen sjunker till ner mot 0° Celsius och vidare till -18° grader. Cyklingen pågår i minst 25 dygn.

Provning av materialen i vatten utfördes med plastbehållare med en storlek om 400 X 600 X 400 mm (figur 4.2).



Figur 4.2. Prover med provklackar i vatten inför provdragning. Dragklackar monteras de sista 24h inför provdragning. Proverna ligger i vatten i ca 20 dygn innan provningen utförs.

Använt lim vid provning mellan dragklackar på vidhäftningsprovningstrutningen och naturstensmaterialet var **Araldite 2010-1**. Ett tvåkomponentsbaserat epoxy lim, som vid sammanblandning av de två komponenterna härdade inom 15 min.

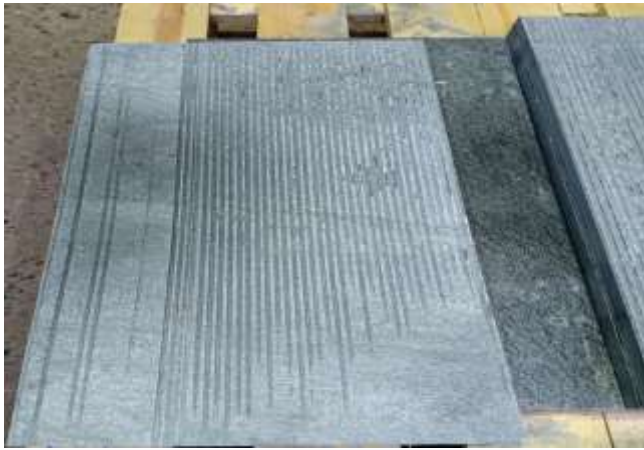
4.2 Stenmaterial

Stenmaterialen valdes för att, så långt möjligt, representera de varianter av material som förekommer på marknaden och ev. inverkan på resultatet. Se tabell 4.1

Eftersom man ofta upplever höga temperaturer som ett problem från branschen, så därför valdes en så mörk stensort som möjligt; svart diabas. För att kunna jämföra temperaturens inverkan valdes också ett motsatt förhållande, dvs en ljus sten som, liksom diabasen, betraktas som inert. Den ljusa graniten med handelsnamnet "Ice Green" är en vit granitlik Norsk stensort (bergarten är Trondhemit). För att undersöka om en kemisk förening kunde påverka vidhäftningen mellan sten och fästmassa valdes en kalksten (CaCO_3). Slutligen valdes en skiffer då skiffer ofta upplevts som besvärligare att hantera av flera orsaker, främst vidhäftning. Tillverkare av fästmassor har dock även arbetat med den problematiken, "fetare" ytor och ytor med mycket glimmerflak som lättare kan lossna. Inskickad skiffer hade en "rillad baksida" efter "kalibering (fräsning) till rätt tjocklek (figur 4.3), medan de övriga material hade en, slät, sågad baksida. I tabell 4.1 presenteras de olika materialen.

Tabell 4.1. Provade stenmaterial

Bergart	Stensort	Kommentar
Diabas	Brännhult	Från Svimpex, f d Emmaboda Granit
Trondhemit (granitlik)	Ice Green	Från Hallinden granit samt uppdragsverksamhet
Kalksten	Norrvange	Från Slite Stenhuggeri
Kvartsitglimmerskiffer	Offerdal	Från Mineraskiffer



Figur 4.3. Inskickad Offerdalskiffer med rillad baksidan. I en smal spalt till höger noteras skiffrens framsida från underliggande naturstensplatta.

I ett tidigt skede i projektet sammanstrålade också samtliga partners för att diskutera och gå igenom provningsförfarandet (figur 4.4). Frågor som diskuterades berörde bland annat provningsteknik med draghållare, förfarandet, blandningsprocessen av fästmassa samt applicering av fästmassa mot underlaget.



Figur 4.4. Olika stensorter som valts ut kontrolleras mot underlagen och om provningstekniken kommer att fungera. I förgrunden Mikael Medin, Närkesten under överinseende av Terje Holstad, Minera Skiffer, som kontrollerar om provningsplacering av vit kalksten, Norrvange mot underlaget betong kommer att fungera. I förgrunden är lättklinkerbetongblock med plattor av svart diabas på. I bakgrunden Magnus Döse, RISE CBI som kontrollerar i standard under överinseende av Göran Sanderöth, PCI/BASF och Björn Hellman, Ardex.

4.2.1 Utsågade provkroppar från inskickat material

Inskickat material inkom som plattor i storlek om ca 200 X 200 X 20 mm, 600 X 300 X 20 mm eller i obrutna längder om 800 X 200 X 30 mm. Från de olika materialen sågades minst ett fyrtio-tal provkroppar ut i storlek 50 X 50 X 20/30 mm. I samtliga fall behövdes minst ett referensprov (en serie om 10 stycken provkroppar) samt ett annat prov (serie) för klimatcykling. M.a.o., oftast krävdes minst 20 provprovkroppar från olika naturstensmaterial. När två olika underlag (lättklinkerbetong och betong) skulle undersökas innebar det dubblerad mängd, dvs minst 40 provkroppar.

För undersökning av skiffer och de fyra olika klimatfaserna med två olika underlag innebar det att minst 80 provkroppar behövdes. Ett 90-tal sågades ut där slumpmässigt urval användes.

Provmaterialen undersöktes också av berörda partners och diskuterades i projektets initiala skede (figur 4.5).



Figur 4.5. Ett av provmaterialen som användes vid försöken innan materialen sågades upp. Vit "granit" med handelsnamnet "Ice green". Till höger i bildkant vilar de betongplattor som utgjorde "ett" av de "två" underlagen som användes i försöken. Diskussion mellan Terje Holstad, Minera Skiffer, Christer Kjellén, Stenutveckling AB, Björn Hellman, Ardex och Göran Sanderöth, PCBI/BASF.

4.3 Fästmassa

Projektekonomin tillät endast användning av en fästmassa. Det var inte heller delprojektets målsättning att prova olika fästmassors egenskaper utan utvärdera provningsmetodens relevans.

Projektgruppen enades om att använda Ardex X32, vilken är specifikt avsedd såsom en flexibel fästmassa för natursten (Figur 4.6).



Figur 4.6. Ardex X 32 för infästning av naturstensmaterial mot olika underlag.

5 Provingar och accelererad klimatpåverkan

Vid utvärdering av laboratorieprovingar av fästmassans egenskaper och delvis de andra materialens egenskaper användes fyra olika miljöbelastande klimatsystem. Dessa omfattade;

- I. Referensprovning, där enkom material lagrats i konditioneringskammare i 23°C och relativ fuktighet om ca 50 %.
- II. Temperaturbelastande klimatpåverkan genom värmepåverkan upp till 70° C under kortare period och därefter provdragning.
- III. Fuktbelastning, där prover sänkts ner i vatten i två veckor och därefter provdragning.
- IV. Frost och tö- cykling, där prover belastats med fukt och temperatur från -18°C till 20°C grader under 24h. Denna cykel repeterades under 28 dygn.

5.1 Provberedning

Provberedningen följde riktlinjer uppställda i provningsstandarden *EN 1348:2007, "fästmassor för keramiska plattor – Bestämning av drag hållfasthet för cementbundna fästmassor"*.

Blandning av Ardex fästmassa följde tillverkarens bruksanvisning. Vid blandning användes en mindre blandare från VMI (figur 5.1). Till ca 25 kg fästmassa som torrbruk tillfördes 8 liter kranvatten. Fästmassan blandades i ca 2 minuter och fick därefter vila i 2 minuter för homogenisering. Därefter blandades materialet ånyo under 1 min. Fästmassan fick därefter vila 5 minuter innan det påfördes på det aktuella underlaget.



Figur 5.1 a och b. Figur (a) illustrerar blandare för ändamålet/ fästmassan, en bruksblandare från VMI. Figur (b) visar kontroll av fästmassans bearbetbarhet efter blandning av Björn Hellman, Ardex.

Beredning av utsågade provkroppar, vilka var 50 x 50 X 20 mm och deras montering i fästmassan utfördes enligt angivna riktlinjer i standarden. Vid det första utförandet hölls också en genomgång av företaget Närkestens representant, Mikael Medin som demonstrerade hur fästmassan skulle appliceras på underlaget, först genom inarbetning i ytan med slät spackel och sedan med tandad stålspackel. Därefter anbringades fästmassa även på den aktuella stenplattan. Plattan påfördes en last av ca 2 kg under 30 sekunder för god vidhäftning mellan underlag och naturstensmaterial (Figur 5.2).



Figur 5.2. Montering av diabas mot underlaget betong. Mikael Medin, Närkesten, stryker på fästmassa mot en ny provkropp innan ansättning mot underlaget. I nedre del av bild har en last om 2 kg (naturstensprisma) påförts det första provet som är lagt i fästmassan.

Limning av dragklackar utfördes med ett epoxybaserat två-komponentslim benämnt Araldit, 2010-1. (Figur 5.3). Limningen förutsätter torra och bra vidhäftande ytor.



Figur 5.3. Epoxybaserat tvåkomponentslim från Huntsman. Araldit 2010-1.

Dragklackar samt underlaget, d.v.s. naturstensmaterialet tvättades med alkohol innan epoxylimmet påfördes (figur 5.4). Klackarna drogs lätt fram och tillbaka och roterades lite efter att limmet strukits på naturstensmaterialet och klackarna monterats ovanpå. Detta för att fördela limmet jämnt över hela ytan och uppnå maximal vidhäftning. Klackarna med pålimmat naturstensmaterial monterades sedan med en vridande rörelse, för att få full kontakt mellan fästmassa och underlag.



Figure 5.4a, b från vänster till höger. I figur (a) visas limmet påfört utan dragklack på diabas. I figur (b) påförs limmet på ytan med lufttrycksbaserad limpistol.

5.2 Accelererad klimatpåverkan/åldring

Accelererad klimatpåverkan/åldring har som nämnts utförts med hjälp av tre olika klimatcyklingar. Provningsförfarandet för respektive accelererad åldring är också beskrivet i provningsstandarden SS-EN 1348:2007. I nedan beskrivning är en kort summering med tillhörande figurer för att illustrera provningsmetodikerna.

5.2.1 Referens

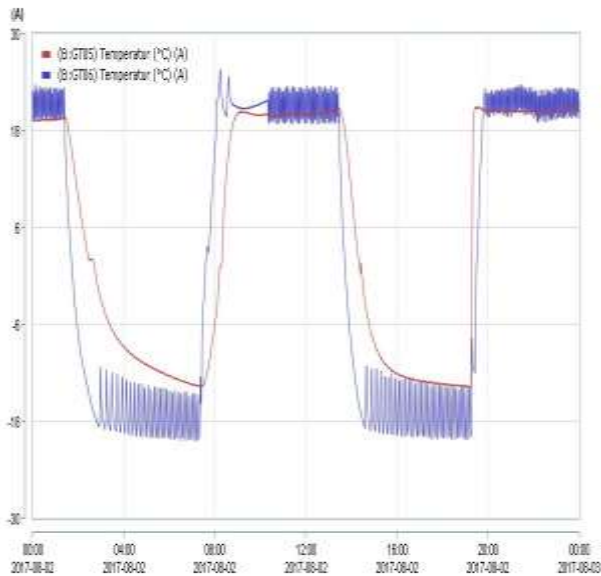
Referensproverna förvarades i en torr konditioneringskammare med en relativ luftfuktighet om ca 50 % och en temperatur om ca 23° Celcius (Figur 5.5).



Figure 5.5 a och b. Figur (a) visar konditionerat klimatrums för förvaring av referensprover inför mätning. Figur (b) visar införda prover av diabas och kalksten som vilar på en vagn inför kommande referensprovningar.

5.2.2 Frys-töväxling

Frös-töväxling utfördes i stålkammare, där proverna placerades på höjden på grund av storleken. I figur 5.6 visas temperaturförloppet som pågår under 24h, där alltid två stycken frys-töcykler utförs under ett dygn. Den blå kurvan illustrerar lufttemperaturen i kammaren. Den röda linjen visar hur materialet beter sig vid nedkylning respektive uppvärmning i kammaren.



Figur 5.6 a och b. I figur (a) illustreras temperaturen som funktion av tiden för frys- töcykler under ett dygn. Två cykler utförs alltid under ett dygn. Figur (b) visar två lättbetongblock och betongplatta nedsänkt i vatten i frostskaåp under upptiningscykel. Svart kabel är injuten i ett naturstensmaterial för kontroll av temperatur.

5.2.3 Värmepåverkan

Värmepåverkan utfördes med hjälp av varmluft. Proverna accelererades under ca 2 veckor varpå provning av dragstyrka utfördes 24 h senare. Två olika värmeskaåp användes. Dels Accona och dels Termak. Både med nödvändig luftcirkulation för jämn värmespridning. Skaåpen kalibrerades under 2017.



Figur 5.7 a och b. Figur (a) med värmeskåp från Accona med en betongplatta och Norrvange kalksten infäst vilandes på översta hyllplanet. Figur (b) visar använda värmeskåp från Termak. Värmeskåp med aktiv luftcirkulation för jämn värme

5.2.4 Vattenlagring

Vattenlagring utfördes i enkla plastbehållare. Provmaterialen sänktes ner i vanligt kranvatten med en temperatur om ca 20°C och förvarades där i ca 3 veckor) innan provdragning utfördes.



Figur 5.8 a och b. Figur (a) visar Kalksten Norrvange i vattenbad med underlag av betong. Figur (b) illustrerar proverna med underlag lättklinkerbetongblock strax innan provdragning skall utföras med monterade dragklackar. . Vattenlagring utfördes i plastbehållare med stöd mellan betong och behållarnas botten för att vattnet skulle komma åt runt om. Lagring i vanlig rumstemperatur 20°C.

5.3 Provningsutförande med dragprovstrustning från Testing

Provning med Testing provdragare utgår från att utrustning har stödben/trefot runt det provobjektet som skall testas. Provningsutrustning är förankrad med en trefot, som måste stå fast mot underlaget. För att uppnå detta lades små tunna stålplattor ut under respektive fot för att fördela trycklasten mot underlaget jämnt.

Provningsutrustning förankras mot provklacken med en skruvanordning som infästs invändigt i provklacken och skruvats åt. Efter fastsättning i provklacken, initieras provning med att provutrustningens centrala axel höjs tills ett svagt motstånd noteras. Därefter påbörjas provdragningen. Det bör noteras att axeln är ledad för att uppta ojämnheter i underlaget. Dragkraften kommer därför alltid vinkelrätt mot ytan.

En förinställd belastning om 250 N/s påförs när centralaxeln långsamt höjs. Ett brott registreras nästan alltid som en stark tryckförändring vilket registreras av maskinen. Automatisk avslutas då mätningen och resultatet kan utläsas i provningsutrustningens display.

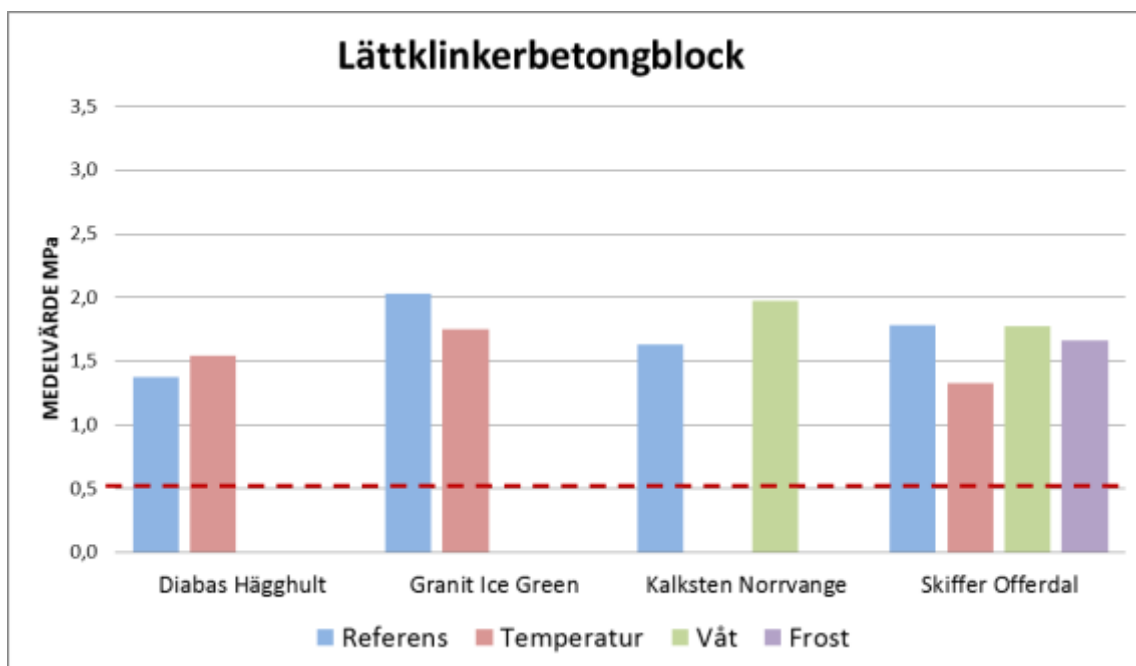


Figur 5.9 a och b. Figur (a) illustrerar förberett provmaterial av Ice green med monterad dragklack inför provdragning. I vänster framkant den skruvanordning som skruvas mot dragklack och fästs in i provdragarens centralaxel. Figur (b) visar initierad provdragning av diabas.

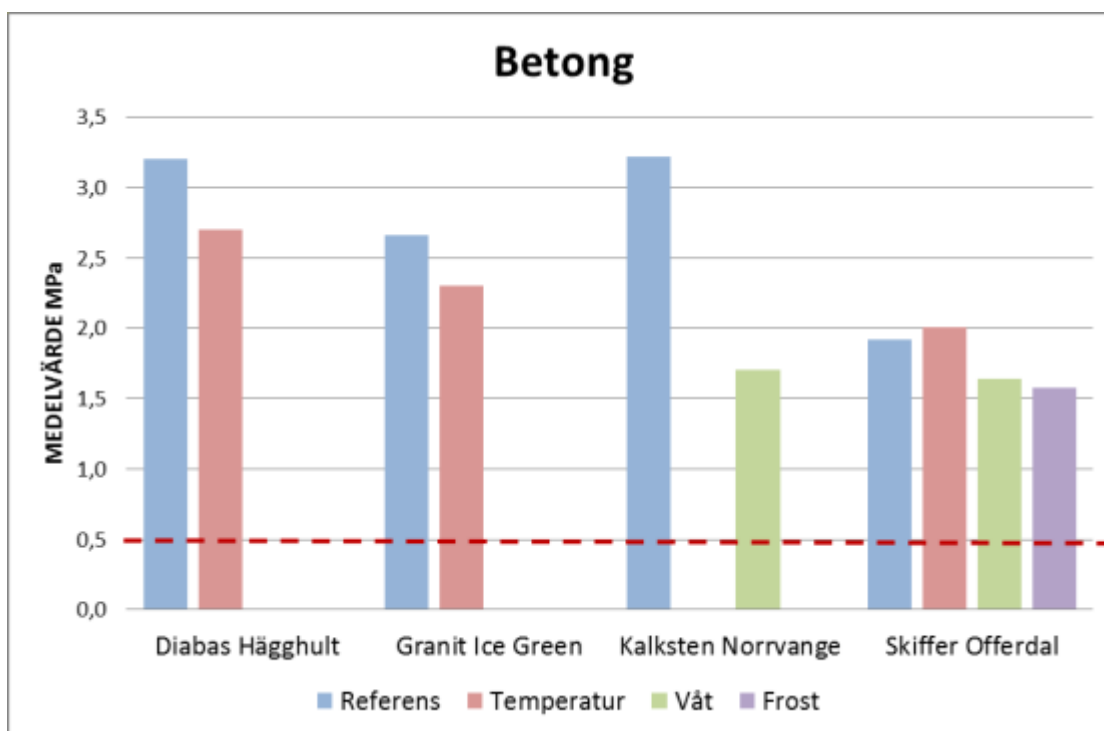
5.4 Resultat

5.4.1 Draghållfasthet/Vidhäftning

Resultaten presenteras vad gäller uppnådd draghållfasthet i två figurer. Respektive figur är i relation till dess undersökta underlag, dvs. lättklinkerbetongblock och betong. En jämförelse mellan de olika klimatbelastningar har sammanställts, där även gällande gränsvärde enligt SS-EN 12004:2007+A12012 har markerats med röd streckad linje. I figur 5.10 noteras att oavsett accelererad klimatbelastning/åldring uppnås sällan värde över 2,0 MPa för lättklinkerbetongblock som underlag. I figur 5.11 kan observeras att man för betongunderlag i flera fall uppnår >2,5 MPa bortsett från cykling av frys-tö. I bilagorna presenteras också samtliga provningsresultat



Figur 5.10 . Medelvärde av utförda provserier som funktion av de olika naturstensmaterialen och accelererad klimatbelastning. Underlaget är lättklinkerbetongblock.



Figur 5.11 . Medelvärde av utförda provserier som funktion av de olika naturstensmaterialen och accelererad klimatbelastning. Underlaget är betong.

5.4.2 Brottkriterier

Olika brottkriterier förekom vid provning, vilka kan delas in i;

1. Brott (inne) i underlag
2. Brott mellan fästmassa och underlag
3. Brott mellan dragklack, lim och naturstensplatta
4. Brott i naturstensmaterialet

Inte sällan uppkom dock en blandning av olika kriterier, framför allt mellan punkt 1 och 2 ovan.

Figureerna 5.12 – 5.14 visar exempel på de olika brottkategorierna som förekom i projektet.

Vid provning av draghållfasthet med lättklinkerbetongblock övervägde punkt 1 ovan. Det förekom nästan alltid att "brott i underlaget" (dvs inne i lättklinkerbetongen) var den avgörande faktorn.

Vid provning mot underlaget betong var det oftast punkt 2 enligt ovan. I enstaka fall och främst för material som cyklats i vått underlag eller frys-töprovning förekom brott enligt punkt 3.

För både lättklinkerbetong och betongunderlag förekom för naturstensmaterialet skiffer ofta brott enligt punkt 4. Dvs, materialet skiffer spjälkades längs dess skifferplan. Detta tycktes dominerande vid främst våt och frost töcykling.



Figur 5.12 Fotot visar olika brottkriterier mot underlaget. Figur (a) där underlaget har givit vika och brottet skett i underlaget, figur (b) där spjälkning i skiffer är den dominerande orsaken till brott.

För Norrvange kalksten och ljus granit, Ice Green, skedde brottet helt eller delvis i betongunderlaget eller delvis i fästmassan. Inte sällan en kombination av dessa båda.



Figur 5.13 a och b. Figur (a) illustrerar brott i fästmassan och delvis i kontakten till underliggande betongplatta. Ett liknande scenario kännetecknar Ice-green (b).



Figur 5.14 a och b. Figur (a) illustrerar brott mellan dragglack, lim och naturstensplatta för Norrvange kalksten. Notera inringad dragglack och natursten med röd cirkel. Figur (b) illustrerar närbild av brott delvis mellan betongplatta och fästmassa för Ice green.

5.4.3 Mätosäkerhet

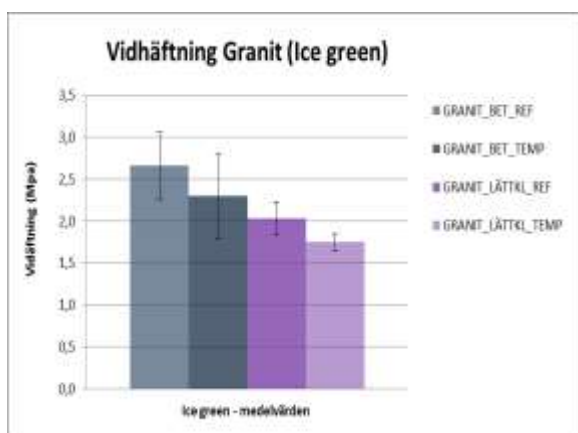
Mätosäkerhet i denna analys utgår från beräkning av standardavvikelse, vilket utförts vid beräkning med mjukvaran Microsoft Office Excel. Standardavvikelse beräknas enligt ekvation (1) nedan (Bell, 2001).

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

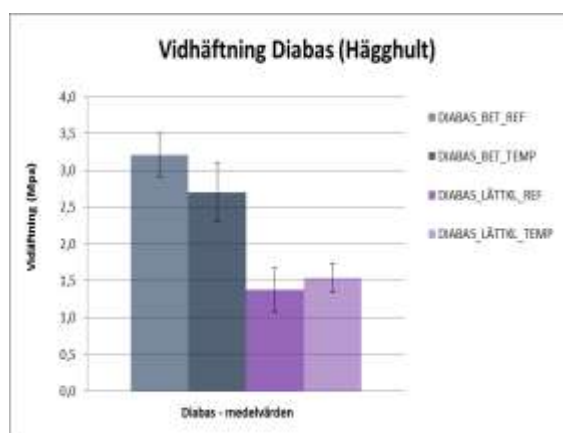
Standardavvikelse är ett mått på den variation som kan förväntas föreligga utifrån de utförda provresultaten som erhöles vid draghållfasthetsprovning/vidhäftning av respektive provserie. Mao, blir

standardavvikelsen stor om variationen i resultat är stor i samma provserie. Är variationen liten mellan provresultaten i samma provserie kommer också standardavvikelsen bli mycket liten.

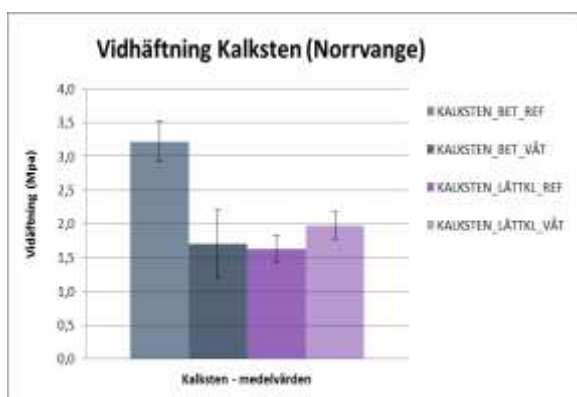
I Figur 5.15 a, b, c och d redovisas de olika naturstensmaterialen draghållfast/vidhäftning inkluderat deras mätosäkerhet



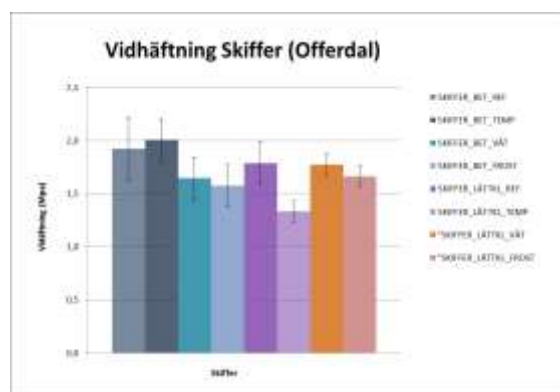
Figur 5.15a. Vidhäftning för granit med mätosäkerhet som markerad svart lodrät linje för respektive provning.



Figur 5.15b. Vidhäftning för diabas med mätosäkerhet som markerad svart lodrät linje för respektive provning.



Figur 5.15c. Vidhäftning kalksten med mätosäkerhet som markerad svart lodrät linje för respektive provning.



Figur 5.15d. Vidhäftning skiffer med mätosäkerhet som markerad svart lodrät linje för respektive provning.

5.5 Fältexponering

Den dominerande andelen utvecklingsprojekt är för korta för att kunna dra långtgående slutsatser från fältexponeringstester. Av denna anledning initieras tyvärr alltför få sådana. Då osäkerheten är stor beträffande accelerationsfaktorn vid klimatbelastning av den typen vi genomfört bedömdes det av stor vikt att installera en fältprovplats för detta ändamål. En plats där fler olika fästmassor och stensorter kan komma att provas. Beslut om detta fattades även om slutresultat inte kommer att föreligga under projektiden.

För att lätt kunna flytta provplatsen och proverna använde vi oss av L-stöd av betong där en mur av lättklinkerbetongblock tillverkades på det ena medan det andra högtrycktvättades med varmvatten för att få bort ev rester av formolja (figur 5.16). Det bör noteras att vissa företag rekommenderar att man även blästrar ytan för att optimera vidhäftningen.



Figur 5.16 a och b. a: högtryckstvätt med varmvatten för att få bort ev rester av formolja. b: Murning med lättklinkerbetongblock

Monteringen av naturstensplattorna utfördes inomhus i RISE' provningslokaler, dvs under optimala förhållanden. Även här var det Närkesten som utförde arbetet (figur 15.7a). Naturstensbeklädningen fogades med cementbaserad fogmassa, lämplig för natursten. Efter montering försågs båda L-stöden även med skyddande plåtar av rostfritt stål då det i färdig konstruktion inte är meningen att regnvatten ska kunna ta sig in bakom stenplattorna (figur 15.7b). Projektets state-of-the-art har kunnat konstatera att skyddande mot inträngande regn sannolikt är av yttersta vikt för en beständig montering.

Båda L-stöden placerades därefter ut i, november 2017, vända mot sydväst för största möjliga påverkan av sol, vind och regn. Uppföljning kommer att ske årligen med okulärbesiktning och bomknackning. Eventuellt kommer vidhäftningsprovning att utföras i framtiden.



Figur 15.7 a & b. a: Närkesten monterar plattor på L-stöd av betong. b: Färdiga L-stöd, med stenplattor och skyddsplåtar, placerade vända mot sydväst på RISE fältprovplats ca 100 m från RV40, vid västra infarten till Borås.

6 Diskussion av resultat

6.1 Draghållfasthetsprovning/ vidhäftning

Vid utförande av draghållfasthetsprovning/vidhäftning mellan de olika underlagen lättklinkerbetongblock och betong är det tydligt att underlaget "lättklinkerbetongblock" är det material som uppvisar det tydligaste brottkriteriet (figur 5.12 och 5.14) i själva underlagsmaterialet. I samtliga provningar med underlaget betong uppnås högre värden bortsett från frys-tö cykling. Begränsningen av draghållfastheten för fästmassan belyses således ej helt korrekt när underlaget utgörs av lättklinkerbetongblock. En mer korrekt analys av vidhäftningen erhålls mot betongunderlaget, där brott ofta skedde mellan Fästmassan och underlaget.

En tydlig effekt uppnås också av våt och frys-tö-cyklingsprovningar mot betongunderlaget. Detta beror sannolikt på ansättning av fukt samt att just vid frys-tö cykling, så provades materialet skiffer. Brott skedde ofta i skiffers/naturstensmaterialets klyvplan, vilket delvis ger fästmassans egenskap en diffus resultatbild vid den här accelererade miljöbelastningen. Detta var emellertid inget som förväntades då vi definierade provningsmatrisen. Notera att under förutsättning att brott inte uppstått i skiffern så hade brottlasterna varit högre än de nu erhållna!

Kalksten släppte i enstaka fall i underlaget mot dragklack. Om det beror på en kemisk reaktion där CaCO_3 reagerar "negativt" med lim under fuktbelastning är svårt att belägga. Det är möjligt att undersöka orsaken vidare men den påverkar inte den totala bedömningen eller resultatet. Det påverkar dock spridningen i resultaten negativt.

En viss effekt av värmepåverkan förefaller kunna styrkas där en liten reduktion av brottstyrkan/vidhäftningen är noterbart för naturstensmaterialen diabas och granit mot underlaget betong. En mer diffus bild framträder dock vid jämförelse med underlaget "lättklinkerbetongblock".

6.2 Brottkriterier

Vid utvärdering av de olika cyklerna har SS-EN 1348:2007 efterlevts. Vissa brister kan dock noteras vid dess utförande:

Vid påföring av dragklackar enligt cykling i vatten skall detta utföras omgående efter att proverna tagits upp från vatten. Det medför att fuktbelastningen är hög vid naturstensplattans yta och detta påverkar sannolikt dess dragstyrka/vidhäftning mellan dragklack och naturstensmaterialet. Detta visade sig också vid dragprovningen, då det vid tre tillfällen skedde brott mellan lim, naturstensmaterial och dragklack (Figur 5.14a). Detta brottkriterium uppträdde enkom då detta cyklingsförfarande var aktuellt. Mao, blir resultaten för "våtprovning" delvis vilseledande och ger bara delvis korrekt information om fästmassans påverkan av fuktbelastningen.

6.3 Mätosäkerhet

Med hänsyn tagen till den föreliggande mätosäkerhet, dvs standardavvikelse som ofta föreligger bör resultaten tolkas med viss försiktighet. I vissa provserier, kan man tydligt notera att variationen i provresultaten är stor.

7 Resultat och sammanfattning

Provad fästmassa Ardex X32 visade sig ha god vidhäftningstyrka och klarade uppställda krav med marginal. Det brottkriterium som uppkom berodde i första hand på underlaget lättklinkerbetongblock, som visade sig ha den lägsta brottstyrkan av samtliga provade material. När fästmassan och naturstensmaterialet provades mot underlaget betong uppnåddes högre provningsresultat förutom för frys-tö-provning. Vid högre provresultat, som fallet var när betongunderlag användes, föreföll fästmassans kvalitet och styrka bedömas korrekt. Resultaten varierade mellan 2-3,2 MPa för fästmassan vid cykling i konditioneringskammare eller värme. När materialen utsatts för våt-cykling eller frys-tö cykling uppnås generellt lägre värde (1,5-2 MPa). Detta är inte enkom beroende av fästmassan utan även av andra brottkriterier som uppkom vid provningen och kan till stor del förklaras av provningsmetodiken eller använt naturstensmaterial.

Värme (70 °C) som påverkande element mot betongunderlag förefaller inte påverka fästmassans vidhäftning negativt. Resultaten har dock visat sig något lägre för både diabas och granit gentemot deras referensmaterial som enkom cyklats i konditioneringskammare. Den relativa skillnaden i procent efter utförd miljöbelastning är marginell (svart granit och vit granit). Dock, som nämnts är resultaten generellt lite högre för diabas. Däremot noteras effekten av olika underlag, såsom betong och lättklinkerbetongblock. För diabas är skillnaden markant. Sannolikt är detta mest beroende av underlaget (lättklinkerbetongblock), vilket har en begränsad draghållfasthet i själva materialet.

Skiffer verkade klara sig bra ihop med fästmassan. Det var i regel inte vidhäftning mellan skiffer och fästmassa som brottet gick i utan oftast längs materialets klyvplan eller i underlaget. Att brott ofta gick i klyvplanen försvårar analysen av olika klimatpåverkningar. Det är viktigt att påpeka att både material och vidhäftning är bättre än kraven för extra hög vidhäftning enligt standard för ”keramiska plattor”!

Kalksten har enkom provats i vått tillstånd. Dock är det tydligt att fukt påverkar vidhäftning, men det framträder tydligast mot underlaget betong. Eventuell kemisk reaktion mellan CaCO_3 och lim är svårt att klarlägga utifrån utförd provning.

8 Nyttiggörande och resultateffekter

Kravet på naturstensindustrin har skärpts i samband med CE-märkningskraven och man provar sina produkter mer regelbundet än tidigare. Anledning till projektet har sin grund i problemställningar som ställvis uppträder vid montering av naturstensmaterial mot olika underlag.

För att säkerställa att materialen klarar uppställda krav har fokus i projektet varit att kontrollera olika naturstensprodukter och främst deras vidhäftning mot fästmassa utifrån olika accelererade klimatbelastningar. Utifrån utförda försök kan man dra slutsatsen att fästmassans grundläggande egenskaper med god marginal uppfyller gällande krav i standarder.

Projektet har visat på möjligheter att införa en kontrollerad provning för att säkerställa att vidhäftning av olika material med använd fästmassa uppfyller gällande krav och regelverk. Projektet har varit begränsat i sin omfattning, men visar på att samtliga materialkombinationer klarar gällande kravgränser om utförandet är korrekt.

Projektet indikerar att om utförandet är korrekt bör materialen klara uppställda krav, även om en viss påverkan kan observeras då materialen är utsatta för fukt- och frostbelastning. Resultateffekten bör efter avslutat projekt vara en dialog med stenentreprenörer och fästmassetillverkare för att utvärdera verkliga fall och brister gentemot resultaten i projektet och varför dessa uppkommit.

Projektet har även sammanfört representanter för alla aktörer inom området för att skapa gemensamma riktlinjer. Svenska stenindustriförbundets tekniska kommitté har på årsmöte 2018 beslutat tillsätta en arbetsgrupp för detta ändamål. Något som vi är övertygade om kommer att gynna hela branschen.

9 Referenser

- [1] *EN 1348:2007 Fästmassor för keramiska plattor – Bestämning av draghållfasthet för cementbundna fästmassor.*
- [2] *SS-EN 12044:2007 Fästmassor för keramiska plattor – Krav, utvärdering av överensstämmelse, klassifikation och beteckning.*
- [3] *Stenhandboken, en handbok om natursten (pärmformat) 2011, delarna Stenkartoteket och Fasader*
- [4] *Bell, S (2001). "A beginner's guide to uncertainty of measurement". Measurement Good Practice Guide No. 11 (Issue 2). National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 34 pp.*

10 Bilagor

1. Vidhäftningsresultat för olika naturstensmaterial inkluderat mätosäkerhet

- Granit/Trondhjemit
- Diabas
- Kalksten
- Skiffer

1- Provningsresultat – Granit/Trondhjemit

Bergart - Natursten	Granit/trondhjemit - Referens	Granit/trondhjemit - Temp	Granit/trondhjemit - Referens	Granit/trondhjemit - Temp
Underlag	Betong	Betong	Lättklinker	Lättklinker
Handelsnamn	Ice green	Ice green	Ice green	Ice green
Geografisk region	Trondheim/Norge	Trondheim/Norge	Trondheim/Norge	Trondheim/Norge
Datum	2016-12-10	2016-12-10	2016-12-10	2016-12-10
Utförare	MD	MD	MD	MD
Antal prov	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)
1	3,2	3,0	1,9	1,6
2	3,0	1,6	2,1	1,8
3	2,9	1,6	1,8	2,0
4	2,7	2,6	1,8	1,9
5	1,8	2,4	2,3	1,7
6	2,1	2,6	1,8	1,9
7	2,6	2,9	2,0	1,6
8	2,8	1,5	2,1	1,7
9	2,9	2,5	2,4	1,6
10	2,6	2,3	2,0	1,9
Medelvärde	2,7	2,3	2,0	1,8
Standardavvikelse	0,4	0,5	0,2	0,1
Variations koefficient	15	24	10	8
Karakteristiskt värde, E (75 % konfidens-nivå)	1,9	1,3	1,6	1,5

2- Provningsresultat – Diabas

Bergart - Natursten	Diabas - Referens	Diabas - Temp	Diabas - Referens	Diabas - Temp
Underlag	Betong	Betong	Lättklinker	Lättklinker
Handelsnamn	Hägghult	Hägghult	Hägghult	Hägghult
Geografisk region	Smålandsriket	Smålandsriket	Smålandsriket	Smålandsriket
Datum	2016-12-02	2016-12-02	2016-12-02	2016-12-08
Utförare	MD	MD	MD	MD
Antal prov	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)
1	3,2	2,4	1,5	1,7
2	3,1	2,5	1,4	1,8
3	2,7	2,7	1,6	1,5
4	3,3	3,5	1,2	1,5
5	3,4	2,8	1,4	1,7
6	3,4	2,6	1,4	1,6
7	3,2	2,5	1,8	1,6
8	3,4	3,2	0,9	1,2
9	2,8	2,3	1,4	1,4
10	3,6	2,5	1,1	1,4
Medelvärde	3,2	2,7	1,4	1,5
Standardavvikelse	0,3	0,4	0,3	0,2
Variations koefficient	9	14	20	12
Karakteristiskt värde, E (75 % konfidens-nivå)	2,6	2,0	0,9	1,2

3- Provningsresultat – Kalksten Norrvange

Bergart - Natursten	Kalksten - referens	Kalksten - våt	Kalksten - referens	Kalksten - våt
Underlag	Betong	Betong	Lättklinker	Lättklinker
Handelsnamn	Norrvange	Norrvange	Norrvange	Norrvange
Geografisk region	Gotland	Gotland	Gotland	Gotland
Datum	2016-12-02	2016-12-10	2016-12-02	2016-12-08
Utförare	MD	MD	MD	MD
Antal prov	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)
1	2,7	1,7	1,3	2,2
2	3,5	1,8	1,3	2,4
3	3,5	1,8	1,3	2,1
4	3,4	1,8	1,3	2,2
5	2,9	1,6	1,5	2,0
6	3,5	1,3	2,0	1,6
7	3,4	1,6	2,0	1,6
8	3,1	2,0	1,8	1,8
9	2,9	1,8	2,0	1,9
10	3,1	1,6	1,9	1,9
Medelvärde	3,2	1,7	1,6	2,0
Standardavvikelse	0,3	0,2	0,3	0,2
Variations koefficient	9	10	20	12
Karakteristiskt värde, E (75 % konfidensnivå)	2,6	1,3	1,4	1,5

4- Provningsresultat – Skiffer

Bergart - Natursten	Skiffer - referens	Skiffer - Temp	Skiffer - referens	Skiffer -Temp
Underlag	Betong	Betong	Lättklinker	Lättklinker
Handelsnamn	Skiffer	Offerdalskiffer	Skiffer	Offerdoffer
Geografisk region	Norge	NORGE	NORGE	NORGE
Datum	2016-12-12	2016-12-14	2016-12-12	2016-12-14
Utförare	MD	MD	MD	MD

Antal prov	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)
1	2,0	2,1	1,9	1,5
2	1,3	1,9	1,8	1,5
3	2,0	2,2	1,9	1,5
4	2,1	2,2	1,8	1,4
5	1,7	2,0	1,8	1,3
6	1,9	1,5	1,9	1,3
7	2,5	2,1	1,9	1,3
8	2,1	1,8	1,3	1,3
9	2,1	2,2	1,8	1,0
10	1,7	2,0	1,9	1,3
Medelvärde	1,9	2,0	1,8	1,3
Standardavvikelse	0,3	0,2	0,2	0,1
Variations koefficient	16	11	11	11
Karakteristiskt värde, E (75 % konfidens-nivå)	1,3	1,6	1,4	1,0

Bergart - Natursten	Skiffer-våt	Skiffer-våt	Skiffer - frost	Skiffer - frost
Underlag	Lättklinker	Betong	Lättklinker	Betong
Handelsnamn	Offerdalskiffer	Offerdalskiffer	Skiffer	Skiffer
Geografisk region	NORGE	NORGE	NORGE	Norge
Datum	2016-12-15	2016-12-15	2016-12-28	2016-12-28
Utförare	MD	MD	MD	MD

Antal prov	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)	Vidhäftning (MPa)
1	2,1	1,7	1,5	1,6
2	1,8	1,5	1,7	1,6
3	1,8	1,9	1,6	1,7
4	1,7	1,5	1,6	1,5
5	1,8	1,5	1,6	1,5
6	1,7	1,7	1,9	1,4
7	1,7	1,6	1,9	1,4
8	1,7	1,7	1,5	1,8
9	1,7	1,8	1,8	1,6
10	1,8	1,5	1,6	1,9
Medelvärde	1,8	1,6	1,7	1,6
Standardavvikelse	0,1	0,2	0,1	0,2
Variations koefficient	8	9	8	10
Karakteristiskt värde, E (75 % konfidens-nivå)	1,5	1,3	1,4	1,3