Del i projektet Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor

# Krossmaterial från ett entreprenörperspektiv med fokus på tillverkning och karakterisering

Denna rapport utgör även slutrapport till Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond projekten SBUF 13201 och SBUF 13360

Arbetena har utförts 2016 – 2017

**Program:** Vinnova – Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer
**Diarienummer**: 2012-01271
**Datum:** 2017-09-11
**Rapportansvariga:** Per Murén och Olov Didriksson , NCC Industry AB

**Nyckelord:**

bergmaterial, ballast, dränerande, överbyggnad, permeabilitet, plattbelastning, bärighet, porvolym

**Antal sidor:**

30

**Omslagsbild:**

Vänster bild - dränerande material från NCCs bergtäkt Skärlunda för test i VTIs provhall
Höger bild - plattbelagd yta i provhallen vid försök med HVS-utrustning

# Innehåll

Förord ... 4
Sammanfattning ... 5
Summary ... 6
1 Bakgrund ... 7
2 Syfte ... 7
3 Avgränsning ... 8
4 Materialproduktion ... 8
5 Provning permeabilitet NCC och CBI ... 12
6 Provning bärighet med plattbelastning ... 14
7 Provning triaxialtester VTI ... 16
8 Beräkning porvolym ... 18
9 Utförandedokument ... 19
10 Sammanfattande kommentarer ... 21
10.1 Gränsvärden och rekommendationer ... 21
10.2 Summering av erfarenheter ... 22
11 Referenser och övrig litteratur ... 23
Bilagor ... 24
Bilaga 1 Dränerande 2/32 för test hos VTI ... 24
Bilaga 2 Dränerande 2/90 för test hos VTI ... 24
Bilaga 3 Plattbelastningsförsök VTI – bärlager 2/32 dränerande, exempel ... 24
Bilaga 4 Plattbelastningsförsök VTI – förstärkningslager 2/90 dränerande, exempel ... 24
Bilaga 5 Porvolym – beräkningar utförda vid CBI ... 24
Bilaga 6 Luftigt förstärkningslager 16/90 för test hos VTI ... 24

# Förord

Föreliggande rapport är en del av projektet Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor, ett tvärvetenskapligt samarbetsprojekt mellan; CBI Betonginstitutet (Projektkoordinator, numer RISE/CBI), Statens Väg och Transportforskningsinstitut (VTI), Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) – Numer RISE, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Benders, Cementa, NCC, Starka, Stenindustrins forskningsinstitut, Stenteknik, Stockholm stad, Helsingborgs Stad, Uppsala Stad, Göteborgs Stad, Lunds Kommun, Växjö Kommun, Trädgårdanläggarnas förbund, Movium (SLU), VIÖS, CEC Design, StormTac, Ramböll och Sweco.

Projektet bedrivs inom ramen för Vinnovas program ”Utmaningsdriven innovation – Hållbara attraktiva städer” och delfinansieras av Vinnova. Resultaten från projektet publiceras på projektets webbplats www.klimatsakradstad.se

Denna delrapport utgör materialleverantörens och entreprenörens syn på val av material, tillverkningsmetod och provning. Arbetsmetoderna måste vara praktiskt användbara, ekonomiskt rimliga och möjliga att utföra på ett kontrollerat sätt.

Deltagare i denna del av projektet har varit personal från NCC i Linköping och Norrköping. Finansiella medel för arbetet kommer från Vinnova, Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF) och som egna insatser från medverkande företag.

# Sammanfattning

Dränerande bärlager 2/32 och dränerande förstärkningslager 2/90 från NCCs Skärlundatäkt (Norrköping) har studerats med avseende på

-Tillverkning av materialen i full skala med praktiskt användbar produktionsprocess
-Provning av vattengenomsläpplighet (permeabilitet) med rörpermeameter
-Provning av bärighet med plattbelastning
-Provning av deformationsegenskaper i triaxialtest hos VTI
-Beräkning av porvolym
-Förslag till gränsvärden för materialparametrar

Dessutom har levererats kross 2/5 som sättmaterial och fogmaterial samt makadam 16/90 som ”luftigt förstärkningslager” till CBI och VTI för laboratorieprovning respektive fullskaleprovning.

Resultat, rekommendationer och erfarenheter ur materialleverantörens synpunkt finns sammanställda i denna rapport.

Företagen NCC Industry och Stenteknik har byggt testbäddar med NCCs Skärlundamaterial och med ytbeläggningar från Starka och Stenindustriförbundet.
VTI utförde provning med HVS-utrustning, som långtidstest av färdig fullskale-konstruktion. HVS = Heavy Vehicle Simulator, en stor maskin som belastar en köryta med ett rullande hjul i många lastcykler.

Dessutom provades bergmaterialen och rapporten innehåller uppgifter om de relevanta materialegenskaperna.

# Summary

Draining wearing course 2/32 and draining subbase 2/90 from NCCs Skärlunda quarry (Norrköping) have been used for studies of

-Manufacturing of the materials in full scale with appropriate method
-Testing of permeability with single pipe permeameter
-Testing of bearing capacity with plate load equipment
-Testing of deformation properites with triaxial test at VTI
-Calculation of porous volume
-Proposed limits for material properities

Also has been used crushed rock 2/5 as bedding material and joint filling and makadam 16/90 as porous subbase.

Results, proposals and experiences from material supplier point of view are collected in this report.

The companies NCC Industry and Stenteknik have built the test beds with materials from NCCs Skärlunda quarry and with surface materials from Starka and Stenindustriförbundet. VTI has conducted tests with HVS equipment as a long term loading of full scale construction.
HVS = Heavy Vehicle Simulator, which is a large machine performing repeated load of a road surface with a wheel running in many cycles.

Except for this the rock material properties were tested and relevant data will be found in this report.

# 1 Bakgrund

Urbanisering ökar mängden och andelen täta markytor och takytor i städerna. Klimat-förändringar tycks dessutom ge ökande och intensivare nederbörd. Med detta följer att ökade vattenmängder  måste tas omhand och enbart avvattning i diken och ledningar räcker inte. Avvattning i ledningssystem ger dessutom sämre lokalklimat och sämre växtbetingelser för träd och grönska.

Allt detta skapar ett behov av att finna alternativa lösningar för fördröjning av vatten. Dränerande konstruktioner är en realistisk möjlighet, som redan använts i flera länder.

Från Danmark finns goda erfarenheter av dränerande produkter.

NCC Industry i Danmark arbetar med ”Draenstabil” som tillverkas av morän och natursand. Erfarenheter från denna produkt har använts i projektet.

Även erfarenheter från andra länder har hämtats från litteraturstudier. Holland, Belgien, Tyskland, Norge, USA är länder där dränerande koncept används i praktiken.

I varje land gäller lokala markförhållanden och lokala regelverk. Det är därför viktigt att detta projekt visar hur vi i Sverige ska prova och använda bergkrossprodukter och vilka materialparametrar som ska användas vid dimensionering.

# 2 Syfte

Syftet med denna del av  projektet är att beskriva hur dränerande bergmaterialprodukter kan framställas, provas och beskrivas under svenska förhållanden. De bergmaterial som främst studeras är dränerande bärlager 2/32 och dränerande förstärkningslager 2/90 för en tänkt användning i framtidens infrastrukturbyggande.

Dessa tekniska och praktiska resultat ska kunna användas som underlag vid marknadsintroduktion av dränerande lösningar.

Ett syfte är också att visa vilka provningar som måste göras för bergmaterial som kommer från olika täkter. Även om många täkter har snarlik mineralogi måste egenskaperna bestämmas eftersom tillverkningsprocesserna kan skilja mellan anläggningar och råvaran kan ge olika resultat vid fragmenteringen. Detta kan medföra skillnader i kornform, permeabilitet, bärighet mm vilket måste studeras för varje fyndighet.

# 3 Avgränsning

Enbart råvarumaterial från Skärlunda (Norrköping) ingår i denna studie.
Skärlundagranit används dock som referensmaterial i många materialtester, framför allt utförda vid VTI i Linköping.

# 4 Materialproduktion

Först måste kommenteras att beskrivningen av bergmaterial ofta görs genom angivande av kornstorleksfördelningar. Vid krossning och siktning hamnar huvuddelen av materialkornen inom angivna värden, exempelvis 2/32 mm eller 0/90 mm.

Men här tillåts sk överkorn och underkorn, vilket är material utanför dessa gränser. I olika klasser kan dessa tillåtna avvikelser vara relativt stora (ex 15 vikt-%). Det innebär exempelvis att ett finmaterialfattigt dränerande 0/32-material likaväl kan betecknas 2/32 med en viss mängd underkorn.

I denna rapport har vi valt att benämna de ingående testmaterialen ”dränerande bärlager 2/32” och ”dränerande förstärkningslager 2/90”.

Mängden filler <0,063 mm är av stor betydelse för permeabiliteten (vattengenom-släppligheten) och därför brukar även maximalt tillåten fillerhalt anges.

Tillverkning av de dränerande bergmaterialprodukterna måste ske på sådant sätt att man kan producera vid ordinarie anläggningar och till måttlig extra insats och kostnad.
Efter diskussion med Skärlundapersonalen valdes att blanda material. Detta är också den tillverkningsmetod som används i Danmark.

En annan möjlighet är att först ta ut ett grövre material, t ex 0/90, innan krossning och sedan producera finmaterialfattiga 0/32 och 0/90 genom normal krossning och siktning. Detta har utförts med framgång vid mobilkrossning.

Vid större objekt bör man eftersträva att använda blandningsverk (utrustning med flera behållare och möjlighet att dosera varje delmaterial noggrant) för att garantera jämn sammansättning.

Ur lagerhögar vid Skärlunda hämtades material i de proportioner som skulle ge önskad kornfördelning. Följande fraktioner och förhållanden mellan dessa användes vid blandning av det dränerande 2/32:

| Fraktion | Vikt [ton] | Viktprocent [%] |
|---|---|---|
| 2/4 | 4 | 25 |
| 4/8 | 2,1 | 13 |
| 8/16 | 3,7 | 23 |
| 16/32 | 5,9 | 38 |

Vid blandning av dränerande 2/90 utgick blandningen ifrån 2/32-materialet. Sedan tillsattes 32/90 (se tabell nedan).

| Fraktion | Viktprocent [%] |
|---|---|
| 2/32 | 60 |
| 32/90 | 40 |

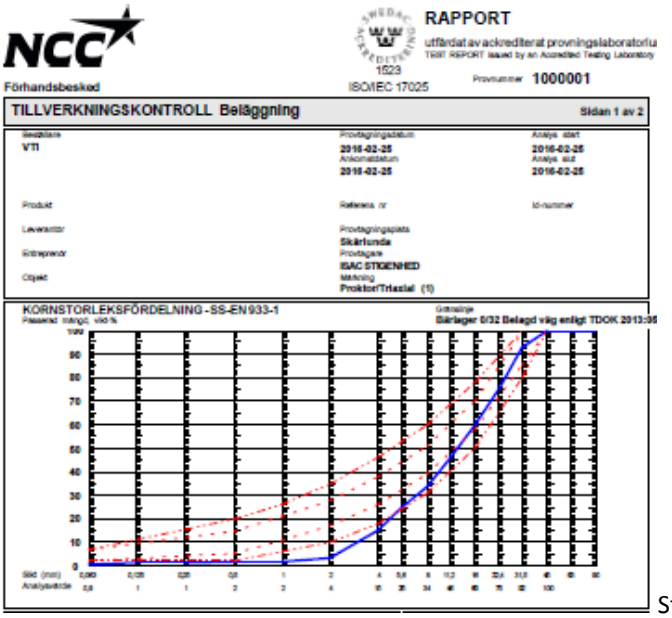
Materialblandning med lastmaskin

Färdiga material lagrade vid VTIs provhall

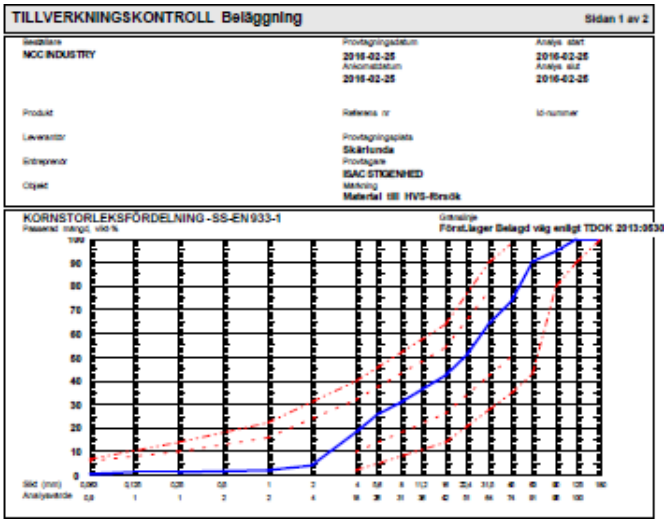
Vid blandning av materialen vägdes fraktionernas olika mängder utifrån tabellerna. Mängden vägdes i lastmaskinens inbyggda våg. Blandningstekniken som användes var att hälla en fraktion över en annan. Ett annat viktigt moment för att få blandningen bra var att skjuta in en fraktion i högen med hjälp av skopan och sedan lyfta upp materialet och hälla det över högen igen.  På så sätt skapas en mer homogen blandning mellan fraktionerna. En van lastmaskinist är en tillgång vid blandningen.

Själva blandningen av fraktionerna går fort. Det som i det här fallet tog tid var att blandningsplatsen och platsen där fraktionerna fanns inte låg på samma ställe. Maskinisten i Skärlunda tvingades därför att åka och hämta material nere i täkten. Att vi var tvungna att placera blandningsplatsen ovanför täkten berodde på att detta endast var en försöksblandning och vi inte ville riskera att hindra den dagliga produktionen. Skulle man istället köra stora mängder skulle man alltså med enkla medel kunna öka blandnings-kapaciteten mycket.
När 2/32 med en totalvikt på 16 ton blandades gjordes detta på cirka 10 minuter. Skulle man slippa åktiden för att hämta material skulle denna blandning inte ta mer än uppskattningsvis 5 minuter.

Nedan visas ett exempel på siktkurvor som togs fram ur materialen som blandades:




Större diagram som Bilaga 1-2

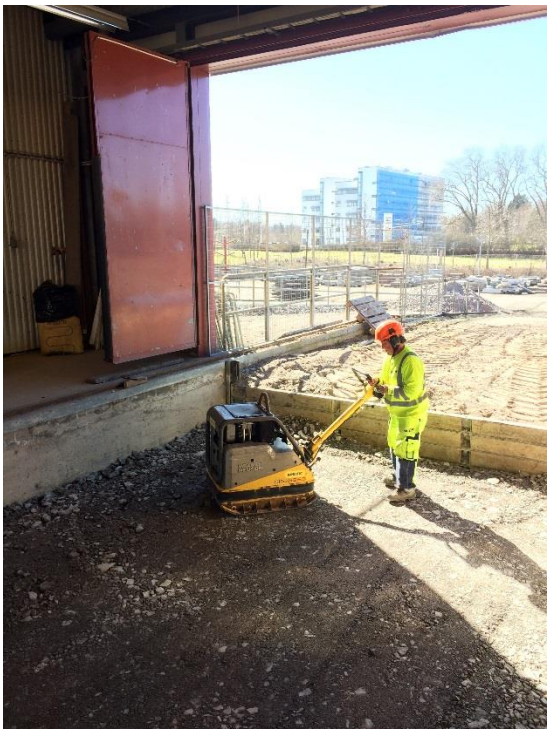



Exempel på siktdiagram efter blandning 2/32 och 2/90 i Skärlunda

Materialkurvorna är endast exempel och kurvorna ligger lägre än många andra testkurvor. Man får prova sig fram vilken blandning som ger både lämplig permeabilitet och samtidigt god arbetbarhet och bärighet.
Med god arbetbarhet avses möjligheten att lätt lägga ut och packa materialet.

Materialen som blandades användes sedan vid byggnation av testbäddar för HVS-försök på VTI i Linköping. Risken med en låg finandel är att materialet blir svårt att packa då det gärna lyfter på ett ställe när man packar på ett annat. Om man dessutom packar materialet med vibroplatta brukar denna ha en tendens att studsa på materialet redan efter några överfarter. Inget av dessa problem upptäcktes dock vid byggnation med de dränerande materialen från Skärlunda. Vibroplattan vägde ca 500 kg.

De dränerande materialen packade sig nästintill lika bra som standardmaterial vilket tyder på en bra blandning med lagom finandel. För att underlätta packning och dessutom uppnå materialets optimala packningsgrad vattnades materialet. Här uppmärksammade yrkesarbetarna en tydlig fördel. Då materialet vattnades blev inget vatten stående på ytan och det blev därför en renare arbetsplats att arbeta på än vid packning av standardmaterial.



Packning av det dränerande 2/90

Det levererade 2/5 för sätt-och fogmaterial var en helt ordinarie produkt från Skärlunda. Luftigt bärlager 16/90 tillverkades genom blandning på samma sätt som de dränerande bär- och förstärkningslagren.

# 5 Provning permeabilitet NCC och CBI

I ett tidigt skede utfördes preliminära prover i rörpermeameter hos NCC i Linköping. Utförande och resultat finns noggrant beskrivet i en särskild rapport 2016-01-15. Titeln är ”Dränerande hårdgjorda ytor i stadsmiljö - delrapport 1 NCC”

Värdena för vattengenomströmning såg ut som förväntat och senare provning har bekräftat att dessa första tester gav tillförlitliga värden.

Följande k-värden uppmättes vid dessa första försök:

0/4 mycket låg permeabilitet, dvs mycket tätt material
2/4 $k = 1{,}0 \times 10^{-2}$ m/s
0/32 $k = 1{,}3 \times 10^{-3}$ m/s (obs att detta inte gäller 0/32 generellt, endast provmaterial från Skärlunda är testat)
1/32 $k = 6{,}0 \times 10^{-3}$ m/s (motsvarar även en 2/32, se kommentarer om fraktioner i början kapitel 4)
2/32 mycket högt värde, ej mätbart med vald utrustning (mycket lite finmaterial < 2mm)

NCCs rörpermeameter i Linlab

I det större Vinnova-projektet ingick att CBI skulle utföra provning av permeabilitet med nytillverkad rörpermeameter.

Dessa utfördes med samma material som användes för VTIs testbäddar och det levererades från Skärlunda. NCC-personal var närvarande vid provningarna hos CBI i Borås.

Permeametern är en rörpermeameter av samma typ som användes av NCC i Linlab. Mätningarna utfördes i vattenmättat material, som packats i röret med en vibrerande hammare (Kango).

Rörpermeameter hos CBI i Borås

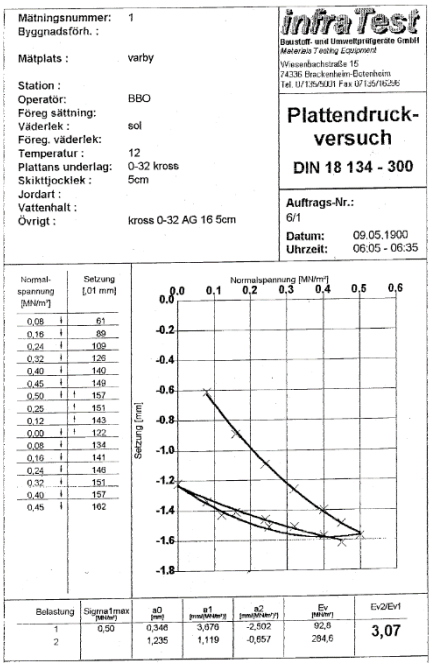
Provningsresultaten blev:

2/32 dränerande $k = 1{,}2 \times 10^{-2}$ m/s
2/90 dränerande $k = 4{,}3 \times 10^{-3}$ m/s
2/4 $k = 1{,}0 \times 10^{-2}$ m/s

Resultaten från permeabilitetsmätningarna hos CBI stämmer storleksmässigt relativt bra med NCCs mätningar och även med litteraturuppgifter om permeabilitet.

# 6 Provning bärighet med plattbelastning

Vid uppbyggnaden av testbäddar hos VTI under april 2016 och vintern 2017 utfördes ett antal plattbelastningsförsök på förstärknings- och bärlagerytorna.



Mätningsnummer: 1
Byggnadsförh. :
Mätplats : varby
Station :
Operatör: BBO
Föreg sättning:
Väderlek : sol
Föreg. väderlek:
Temperatur : 12
Plattans underlag: 0-32 kross
Skiktjocklek : 5cm
Jordart :
Vattenhalt :
Övrigt : kross 0-32 AG 16 5cm

infraTest
Baustoff- und Umweltprüfgeräte GmbH
Materials Testing Equipment
Wissenbachstraße 15
74336 Brackenheim-Botenheim
Tel. 07135/5001 Fax 07135/16356

Plattendruck-versuch
DIN 18 134 - 300

Auftrags-Nr.: 6/1
Datum: 09.05.1900
Uhrzeit: 06:05 - 06:35

| Normal-spannung [MN/m²] | Setzung [,01 mm] |
|---|---|
| 0,08 | 61 |
| 0,16 | 89 |
| 0,24 | 109 |
| 0,32 | 126 |
| 0,40 | 140 |
| 0,45 | 149 |
| 0,50 | 157 |
| 0,25 | 151 |
| 0,12 | 143 |
| 0,00 | 122 |
| 0,08 | 134 |
| 0,16 | 141 |
| 0,24 | 146 |
| 0,32 | 151 |
| 0,40 | 157 |
| 0,45 | 162 |



| Belastung | Sigma1max [MN/m²] | a0 [mm] | a1 [mm/(MN/m²)] | a2 [mm/(MN/m²)²] | Ev [MN/m²] | Ev2/Ev1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,50 | 0,346 | 3,676 | -2,502 | 92,6 | 3,07 |
| 2 | | 1,235 | 1,119 | -0,657 | 284,6 | |

Exempel på plattbelastningsprotokoll

Vid plattbelastningen belastas en cirkulär stålplatta med hjälp av en domkraft inspänd av ett mothåll, ofta ett tungt arbetsfordon. Belastningen görs i ett antal steg i två omgångar, den första belastningen har normal maxlast 0,5 MPa (cirka 3,6 ton) och den andra belastningen cirka 90 procent av den första. Nedsjunkningen av plattan registreras vid varje steg.

Av belastnings- och sättningsvärdena beräknas deformationsmodulerna, $E_{v1}$ respektive $E_{v2}$. Krav ställs ofta på $E_{v2}$ och på kvoten mellan $E_{v2}/E_{v1}$. Kravvärden finns i ”AMA Anläggning 17” som i vägsammanhang hänvisar till Trafikverkets **Obundna lager för vägkonstruktioner, TDOK 2014:0141.** Dessa dokument reglerar också hur många punkter som ska mätas.

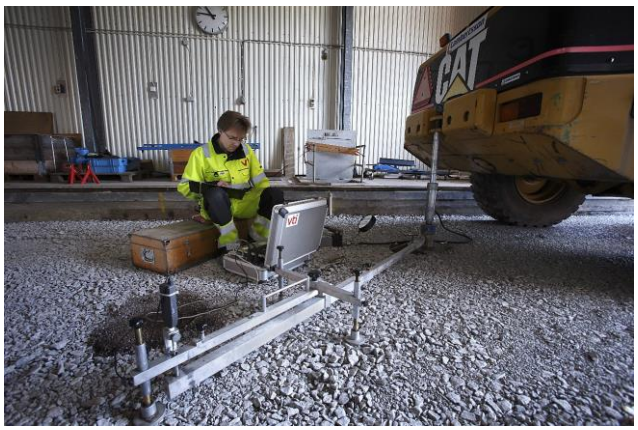
Mätningen redovisas i ett dokument med en sammanställning och sättningsdata för varje punkt.

Resultaten från provningarna med plattbelastning vid VTI visade att de utförda material-bäddarna med material från Skärlunda hade höga värden - ”motorvägsklass” enligt VTI.

Förstärkningslager $E_{v2}$ = 177 MPa
Bärlager $E_{v2}$ = 159 MPa

Dessa värden är kanske exceptionellt höga eftersom testbäddarna utförts med stor noggrannhet och med stort packningsarbete. Kravvärden vid normal vägbyggnad med måttlig trafik ligger i storleksordningen $E_{v2}$ = 110-140 MPa

Vår åsikt är att plattbelastningsförsök ger god information om materialens bärighet till en rimlig kostnad. Plattbelastning föreslås därför som en lämplig metod vid test av material från andra anläggningar.




Plattbelastningsförsök VTI

# 7 Provning triaxialtester VTI

För att beskriva last-deformationsförhållandena i ett material brukar man använda triaxiella tester, där ett materialprov belastas med många vertikala lastcykler och med en samtidig horisontell spänning. Detta ska efterlikna förhållandena i en vägkropp, där materialet (exempelvis ett bärlager) ligger inbäddat på visst djup och utsätts för upprepad trafiklast.

Efter samråd med VTI beslutades att NCC önskade triaxialtester gjorda för dränerande bärlager av Skärlundamaterial. Utrustningen klarar bärlager 2/32 men inte de största kornen i ett förstärkningslager 2/90.  Endast 2/32 har därför testats.

Triaxialtest hos VTI

Ett antal försök gjordes därför med dränerande bärlager 2/32 vid olika fukthalt och i ett anpassat lastcykelprogram.

Sedan tidigare finns en mängd försök gjorda med ordinarie bärlager 0/32, som utgör referens.

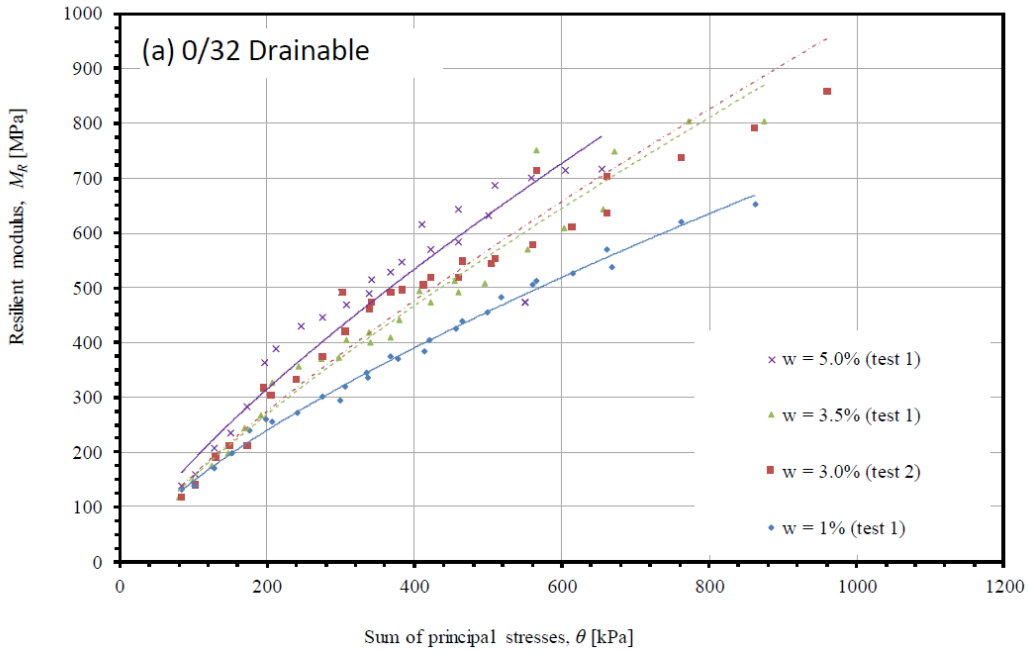
Resultaten visar att dränerande bärlager i stort sett uppför sig likadant som ett referensbärlager och dessutom har en mindre försämring av bärförmågan vid högre vattenhalter. Naturliga vattenhalter brukar ligga kring 3-4%. Vid genomförda tester ökades

vattenhalten till 5-7%. För dränerande material är det svårt att nå högre vatteninnehåll eftersom vattnet dräneras ut. Detta är ju också meningen med dränerande lager!

Storleken av uppmätta E-moduler (M) är av samma storleksordning som för referensmaterial från Sverige, Finland och Danmark.

> Dränerande material följer de förväntade last-deformations-beteenden som erfaren VTI-personal kunde förutsäga.

Resultaten har presenterats av VTI i en rapport till NCC och här är ett av diagrammen:




Skärlunda dränerande bärlager 2/32 vid olika fukthalter

Resilientmodul 450-550 MPa vid principal stresses 500 kPa är goda och förväntade värden.

# 8 Beräkning porvolym

Beräkningar av porvolym utfördes hos CBI Betonginstitutet AB  i Borås för en mängd olika material. Våra material visade följande värden:

| Material/Sortering | Porvolym (%) | Används till |
|---|---|---|
| 0/32 | **22** | **Bärlager** |
| 2/32 – special/dränerande | **28** | **Bärlager** |
| 2/5 | **36** | **Sätt-och fogmtrl** |
| 2/90 – special/dränerande | **26** | **Förstärkningslager** |

För det danska ”draenstabil” anges kravet min 30% (för sand/morän).

Svenska material med bergkross hamnar något lägre och kravet bör enligt tillverkaren av bergmaterialet vara 25%.

# 9 Utförandedokument

Vid arbetena med de obundna materialen i testbäddarna vid VTIs provanläggning lades materialen ut i skikt, packades och kontrollerades.
Framdriften begränsades av att mätutrustning skulle läggas in i och mellan materialskikten, men i stort sett kunde arbetet bedrivas som ett ordinärt entreprenadarbete.

De utlagda skiktens material och tjocklekar bestämdes vid projektmöten och fick för ett par provetapper följande utseende (alla provytor finns beskrivna i delrapporten ”HVS-försök”):

| 2A Tjocklek (mm) | Verklig tjocklek (mm, avvägd | Material | Funktion |
|---|---|---|---|
| 80 | 80 | Flivik, naturstenshäll | |
| 30 | 26 | Kross 2/5 | Sättlager permeabelt |
| 80 | 104 | Kross 0/32 | Obundet bärlager |
| 860 | 832 | Kross 16/90 | Luftigt förstärkningslager |

| 1B Tjocklek (mm) | Verklig tjocklek (mm, avvägd) | Material | Funktion |
|---|---|---|---|
| 100 | 100 | Starka Uni-Ecoloc | |
| 30 | 33 | Kross 2/5 | Sättsand permeabelt |
| 80 | 101 | 22-massa. 20-25 % hålrum | Dränerande AG. |
| 30 | 22 | Kross 2/32 | Avjämningslager |
| 810 | 814 | Kross 2/90 | F-lager permeabelt |

Vid utförande dokumenterades arbetet med dokument som utarbetats inom ett tidigare projekt ”Grå-gröna systemlösningar för hållbara städer”.

För etapp 1 ser protokollet ut så här:

WP2 y

**Överbyggnad exkl. slitlager/beläggning**

**KONTROLLPROTOKOLL** Datum 2016- 22-04

| | |
|---|---|
| Projekt: | Klimatsäkrade systemlösningar för urbana ytor |
| Beställare: | VTI, CBI/SP |
| Entreprenör: | NCC |
| Entreprenör: | |
| Arbete: | Testbädd 1A, HVS-SE23 |

**Kontrollmoment**

| | Föreskrivet värde enl. 1.a | Kontroll värde | Anmärkning | 1 | 2 | sign |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 Bärlager kontroll | | | | | | |
| Fraktion /siktkurva | 0/32 Drän | 0/32 Drän | Siktkurva finns | X | | IS |
| Tjocklek | 80 mm | | VTI- Protokoll | X | | IS |
| Fall Exakt samma som ytskiktet | - | - | - | | | |
| Buktighet överyta | - | - | - | | | |
| Komprimering | | | | | | |
| Vattenkvot | 5,5% | | Materialet vattnades | X | | IS |
| Typ av padda/vält | Padda 500 kg | Padda 500 kg | | X | | IS |
| Antal överfarter | 6 | 6 | | X | | IS |
| Kontroll av packningsgrad | | | | | | IS |
| Packningsmätare | Plattbelastning | EV2=ca 160 Mpa | Värden enligt VTI | X | | IS |
| Förstärkningslager kontroll | | | | | | |
| 4 Tjocklek | 840/810 mm | | VTI-Protokoll | X | | IS |
| Förstärkningslagret < 200 mm = samma fraktion som bärlagret | | | | | | |
| Fraktion/siktkurva | 0/90 Drän | - | Siktkurva finns | X | | IS |
| Jämnhet överyta | | | | | | |
| Komprimering | - | - | - | | | |
| Vattenkvot | 5,5% | - | Materialet vattnades | X | | IS |
| Typ av padda/vält | Padda 500 kg | Padda 500 kg | | X | | IS |
| Antal överfarter | 6+6 | 8+14 | | X | | IS |
| Kontroll av packningsgrad | | | | | | |
| Packningsmätare | Plattbelastning | EV2=ca 160 Mpa | Värden enligt VTI | X | | IS |
| Geotextil | - | - | - | | | |
| 5 Kontroll överbyggnadstjocklek men hänsyn till tjälrisk och klimatzon | | | | | | |
| Korrigering av förstärkningslagret | - | - | - | | | |
| 3 Terrassytans jämnhet | | | Värden enligt VTI | | | |

Ev. hänvisning: ☐ Avvikelserapport nr ... ☐ Relationshandling .....

Kontrollstatus: 1 Kontrollerat och godkänt
2 Kontrollerat och ej godkänt
Ej relevant kontroll-moment strykes

Kontrollansvarig: Isac Stigenhed IS
(namn) (underskrift)

KJ 2014-12-23

# 10 Sammanfattande kommentarer

## 10.1 Gränsvärden och rekommendationer

Detta delprojekt anger följande rekommenderade parametrar och gränsvärden för att uppfylla de materialkrav som kan ställas på en dränerande konstruktion:

| | Dränerande bärlager och dränerande förstärknings-lager | Sättmaterial och fogmaterial |
|---|---|---|
| Permeabilitetskoefficient | $k > 5*10^{-4}$ m/s | $k > 1*10^{-3}$ m/s |
| Tillgänglig porvolym | >25 % | - |
| Max fillerhalt | UF3 | - |
| Bärighet vid plattbelastning $E_{v2}$ | Enligt Trafikverkets krav TRVKB 10 tabell 7.2-2i avsnitt 7.2.3.1.1. Projektets rekommendation är att föreskriva $E_{v2}$ = 110 - 140 MPa<br><br>Ibland krävs fler överfarter än vad AMA anger för att säkert nå god komprimering | - |

Permeabilitetsvärdet är taget från utländska beräkningar och erfarenheter samt från beräkningar av vattenflöden i ett annat delprojekt.

Porvolymen är något lägre än danska kravvärden beroende av att Sverige arbetar med krossat berg medan Danmark använder övervägande naturgrus.

Fillerhalten är tagen från utländsk litteratur och danska erfarenheter och uppfylls av de testade svenska materialen (max 3 vikt-% filler).

## 10.2 Summering av erfarenheter

- Projektet har visat att det går att utföra framtidens dränerande konstruktioner i stadsmiljö med dränerande ytbeläggningar och uppbyggnad med dränerande bergmaterial.

- Entreprenadarbetena kan drivas med traditionella arbetsmetoder för markarbeten. Särskild vikt måste läggas vid god packning eftersom detta minskar marksättningar och spårbildning.

- Ingående bergmaterial måste provas med avseende på permeabilitet, bärighet och arbetbarhet. Olika bergmaterial har olika egenskaper. Även om många täkter har snarlik mineralogi måste egenskaperna bestämmas eftersom tillverkningsprocesserna kan skilja mellan anläggningar och råvaran kan ge olika resultat vid fragmenteringen. Detta kan medföra skillnader i kornform, permeabilitet, bärighet, god arbetbarhet mm.

- Tillverkning av dränerande bergmaterial kräver extra insatser i form av sortering, klassering, dosering och kontroll.
- Bärlager 2/32 och förstärkningslager 2/90 har studerats i detta projekt. Dessutom har använts sättmaterial och fogmaterial 2/5, som är en ordinarie produkt.

# 11 Referenser och övrig litteratur

Handboken Bygg II Materiallära, avd 23 Naturligt stenmaterial
En utmärkt handbok - 3:e utgåvan från 1961 - med mängder av diagram och materialuppgifter

Dränerande bärlager från täkt i Karlstad
Examensarbete vid Bergsskolan 2017, Daniel Berggren – handledare Alf Westerlund/Per Murén

Dränerande bärlager från täkt i Enköping
Examensarbete vid Bergsskolan 2017, Salah Suleiman Poor – handledare Alf Westerlund/Per Murén

SGF notat 2-2005 Permeabilitetsbestämning genom laboratorieförsök
Beskrivning av testutrustningar och förfaranden

TDOK 2014:0141 Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning
Teknisk beskrivning från Trafikverket

Lokal håndtering av regnvand med permeable belaegninger – anvendelse, udforelse, vedlikeholdelse
Dansk beton – Belaegningsgruppe

Dokumentation från 11th International Conference on Concrete Block Pavement Sept 9-11, 2015 .
En mängd undersökningsresultat och referenser finns samlade från konferensen
http://www.iccbp2018.org/ för nästa konferens

# Bilagor

| | |
|---|---|
| Bilaga 1 | Dränerande 2/32 för test hos VTI |
| Bilaga 2 | Dränerande 2/90 för test hos VTI |
| Bilaga 3 | Plattbelastningsförsök VTI – bärlager 2/32 dränerande, exempel |
| Bilaga 4 | Plattbelastningsförsök VTI – förstärkningslager 2/90 dränerande, exempel |
| Bilaga 5 | Porvolym – beräkningar utförda vid CBI |
| Bilaga 6 | Luftigt förstärkningslager 16/90 för test hos VTI |

Dränerande bärlager 2/32 för tester hos VTI

NCC

Förhandsbesked

1523

ISO/IEC 17025

**RAPPORT**

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium

TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

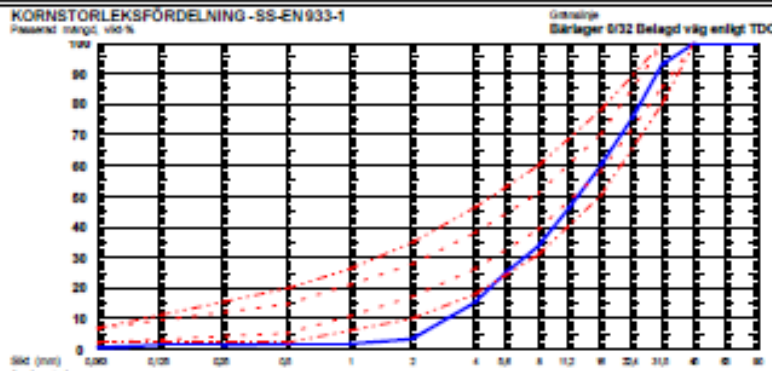
Provnummer **1000001**

**TILLVERKNINGSKONTROLL Beläggning** Sidan 1 av 2

| | | |
|---|---|---|
| Beställare<br>VTI | Provtagningsdatum<br>2016-02-25<br>Ankomstdatum<br>2016-02-25 | Analys start<br>2016-02-25<br>Analys slut<br>2016-02-25 |
| Produkt | Referens nr | Id-nummer |
| Leverantör | Provtagningsplats<br>Skärlunda | |
| Entreprenör | Provtagare<br>ISAC STOENHED | |
| Objekt | Märkning<br>Proktor/Triaxial (1) | |

**KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 933-1**

Genomsnittliga Bärlager 0/32 Belagd väg enligt TDOK 2013:063




| Provresultat | Medel-värde | Receptkravet |
|---|---|---|
| Kommentar | | |
| SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning<br>Tröttning och sikting | | |

Notering

Ort och datum
LINKÖPING 2016-03-02

VIKTOR SÖDERBERG, Laborant
Digitalt utfärdad signatur

Provresultaten avser endast det laboratoriskt kontrollerade provet.
(RA) = Ej ackrediterad metod. (R) = Referensprov. Denna rapport får endast återgivas i sin helhet.
Konstbägge Miljöcertifikat finns på www.ncc.se/kvalitetsarbete/certifikat/laboratorier

| NCC Roads AB | Besöksadress | Telefon nr | Org.nr | E-post |
|---|---|---|---|---|
| Jägarvallsvägen 9C<br>581 22 Linköping | Jägarvallsvägen 9C<br>Styrelsens säte<br>Solna | 013-212020<br>Telefax nr<br>013-210051 | 556303-3367<br>VAT nr<br>SE 556303-3367 | leif.soderberg@ncc.se<br>Internet adress<br>www.ncc.se |

Bilaga 2

Dränerande förstärkningslager 2/90 för tester hos VTI

NCC

Förhandsbesked

SWEDAC ACKREDITERING 1523 ISO/IEC 17025

**RAPPORT**

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium

TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

Provnummer **1000001**

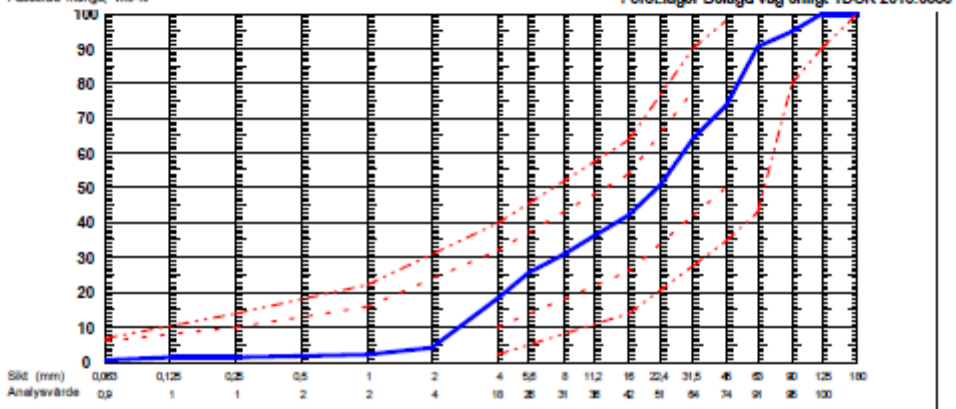
**TILLVERKNINGSKONTROLL Beläggning** — Sidan 1 av 2

| | | |
|---|---|---|
| Beställare<br>**NCC INDUSTRY** | Provtagningsdatum<br>**2016-02-25**<br>Ankomstdatum<br>**2016-02-25** | Analys start<br>**2016-02-25**<br>Analys slut<br>**2016-02-25** |
| Produkt | Referens nr | Id-nummer |
| Leverantör | Provtagningsplats<br>**Skärlunda** | |
| Entreprenör | Provtagare<br>**ISAC STIGENHED** | |
| Objekt | Märkning<br>**Material till HVS-försök** | |

**KORNSTORLEKSFÖRDELNING - SS-EN 933-1**

Passerad mängd, vikt-%

Gränslinje: **Först.lager Belagd väg enligt TDOK 2013:0530**




| Provresultat<br>Kommentar | Medel-värde | Recept |
|---|---|---|
| SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning<br>Tvättning och siktning | | |

Notering

Ort och datum
LINKÖPING 2016-02-25

VIKTOR SÖDERBERG, Laborant
Digitalt utfärdad signatur

*Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.*
*(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.*
*Kundbilaga Mätosäkerhet finns på www.ncc.se/sv/material-och-service/vagglaboratorier*


NCC Roads AB
Jägarvallsvägen 8C
584 22 Linköping

Besöksadress
Jägarvallsvägen 8C
Styrelsens säte
Solna

Telefon nr
013-212820
Telefax nr
013-210051

Org.nr
556302-3307
VAT nr
SE 556302-3307

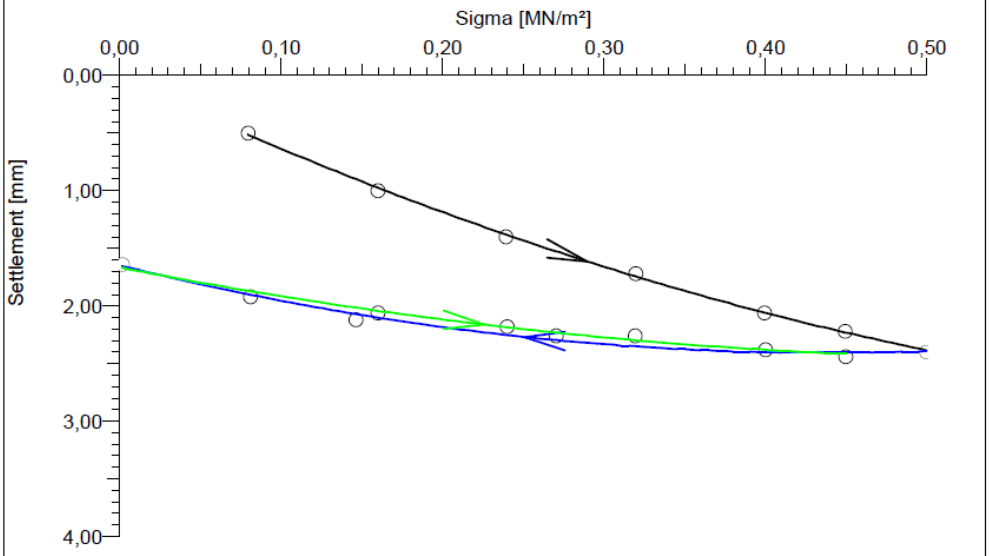
E-post
leif.soderberg@ncc.se
Internet adress
www.ncc.se

# Plattbelastningsförsök VTI – bärlager 2/32 Skärlunda i testbädden

| vti<br>Håkan Arvidsson | Plate Load Test<br>Def. Module DIN 18 134 - 300 |
|---|---|

| | |
|---|---|
| Project | SE23 |
| Site | |
| Subject | Obundet BL |
| Responsible | Håkan Arvidsson |
| | |
| Measuring row | BL1 4,7 -0,6 |
| Experiment start | 18.04.2016 12:51:51 |
| | |
| Platediam. | 300,0 mm |
| Lever (sett. : meas.) | 2,00000000 |
| | |
| Meßstelle | |
| - | |
| - | |
| - | |
| | |
| Measuring depth | |
| Plate base | |
| Kind of soil | Crushed rock |
| Water content | |
| Temperature | 9 °C |
| Weather | Inne |

| No | Force [kN] | Sigma [MN/m²] | Path [mm] | Settling [mm] |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 5,6 | 0,08 | 0,25 | 0,50 |
| 1 | 11,3 | 0,16 | 0,50 | 1,00 |
| 2 | 16,9 | 0,24 | 0,70 | 1,40 |
| 3 | 22,6 | 0,32 | 0,86 | 1,72 |
| 4 | 28,2 | 0,40 | 1,03 | 2,06 |
| 5 | 31,8 | 0,45 | 1,11 | 2,22 |
| 6 | 35,3 | 0,50 | 1,20 | 2,40 |
| 7 | 19,1 | 0,27 | 1,13 | 2,26 |
| 8 | 10,4 | 0,15 | 1,06 | 2,12 |
| 9 | 0,1 | 0,00 | 0,82 | 1,64 |
| 10 | 5,7 | 0,08 | 0,96 | 1,92 |
| 11 | 11,3 | 0,16 | 1,03 | 2,06 |
| 12 | 17,0 | 0,24 | 1,09 | 2,18 |
| 13 | 22,6 | 0,32 | 1,13 | 2,26 |
| 14 | 28,3 | 0,40 | 1,19 | 2,38 |
| 15 | 31,8 | 0,45 | 1,22 | 2,44 |




| Load-seg. | Sig-max MN/m² | a0 MN/m² | a1 mm/(MN/m²) | a2 mm/(MN²/m4) | Ev MN/m2 | Ev2/Ev1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,50 | 0,013 | 6,613 | -3,732 | 47,4 | - |
| 2 | 0,45 | 1,668 | 2,730 | -2,356 | 144,9 | 3,06 |
| | | | | | | |

SE23 BL.pdv

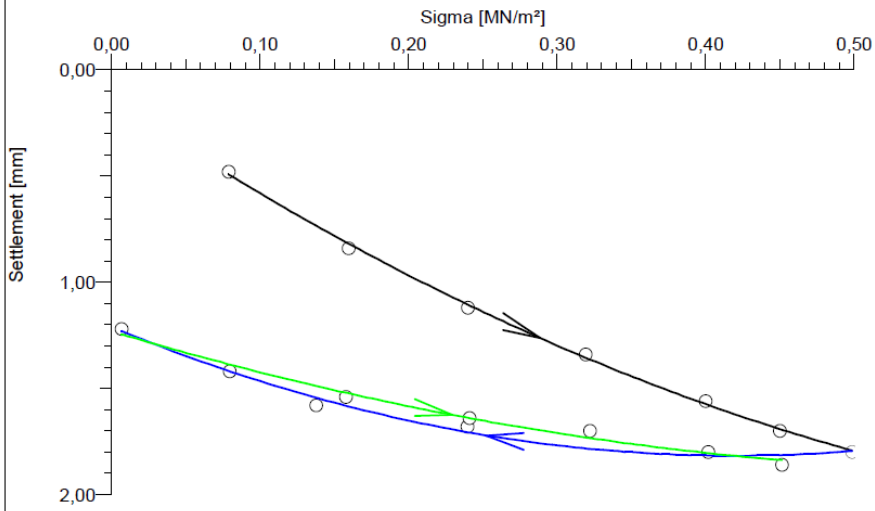
# Plattbelastningsförsök VTI – förstärkningslager 2/90 Skärlunda i testbädden

vti
Håkan Arvidsson

Plate Load Test
Def. Module DIN 18 134 - 300

| | |
|---|---|
| Project | HVS SE23 |
| Site | |
| Subject | |
| Responsible | |
| | |
| Measuring row | 2016.04.15 08:59:48 |
| Experiment start | 15.04.2016 08:59:48 |
| | |
| Platediam. | 300,0 mm |
| Lever (sett. : meas.) | 2,00000000 |
| | |
| Meßstelle | -0,5 +0,30 |
| - | |
| - | |
| - | |
| | |
| Measuring depth | |
| Plate base | |
| Kind of soil | Crushed rock |
| Water content | |
| Temperature | 11 °C |
| Weather | Inomhus |

| No | Force [kN] | Sigma [MN/m²] | Path [mm] | Settling [mm] |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 5,6 | 0,08 | 0,24 | 0,48 |
| 1 | 11,3 | 0,16 | 0,42 | 0,84 |
| 2 | 17,0 | 0,24 | 0,56 | 1,12 |
| 3 | 22,6 | 0,32 | 0,67 | 1,34 |
| 4 | 28,3 | 0,40 | 0,78 | 1,56 |
| 5 | 31,8 | 0,45 | 0,85 | 1,70 |
| 6 | 35,2 | 0,50 | 0,90 | 1,80 |
| 7 | 16,9 | 0,24 | 0,84 | 1,68 |
| 8 | 9,7 | 0,14 | 0,79 | 1,58 |
| 9 | 0,5 | 0,01 | 0,61 | 1,22 |
| 10 | 5,6 | 0,08 | 0,71 | 1,42 |
| 11 | 11,2 | 0,16 | 0,77 | 1,54 |
| 12 | 17,1 | 0,24 | 0,82 | 1,64 |
| 13 | 22,8 | 0,32 | 0,85 | 1,70 |
| 14 | 28,4 | 0,40 | 0,90 | 1,80 |
| 15 | 31,9 | 0,45 | 0,93 | 1,86 |




| Load-seg. | Sig-max MN/m² | a0 MN/m² | a1 mm/(MN/m²) | a2 mm/(MN²/m4) | Ev MN/m2 | Ev2/Ev1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,50 | 0,142 | 4,676 | -2,735 | 67,9 | - |
| 2 | 0,45 | 1,232 | 2,101 | -1,672 | 177,5 | 2,61 |
| | | | | | | |

Avjämnat först -0,5 0,3.pdv

Bilaga 5

Porvolymberäkningar utförda vid CBI, Borås med material från NCC Skärlunda

| Material/Sortering | Utfört | Påfyllnad vatten | Area | Höjd | kubik | Porvolym |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (m3) | r2*PI | | (m3) | (%) |
| 0/32 | 2016-03-23 | 0,008 | 0,06822 | 0,53 | 0,0362 | **22,13** |
| 0/32 -special | 2016-03-23 | 0,01055 | 0,06822 | 0,545 | 0,0372 | **28,37** |
| 2/4 | 2016-03-23 | 0,014 | 0,06822 | 0,557 | 0,0380 | **36,88** |
| 0/90 | 2016-03-23 | 0,00975 | 0,06822 | 0,53 | 0,0362 | **26,97** |
| 0/90 | 2016-03-18 | 0,0105 | 0,06822 | 0,56 | 0,0383 | **27,42** |
| 0/90 - special | 2016-03-18 | 0,0096 | 0,06822 | 0,55 | 0,0376 | **25,55** |

**Faktaruta**

Porvolymsmätning utfördes efter att kompaktering av materialet utförts. Efter ca 20-25 sek, var det svårt att med blotta ögat kunna skönja ytterligare kompaktering. Vad avser kvalitetskontroll, ompacketerades ett prov (0/90) för att kontrollera repeterbarhet. Resultatet får anses mycket bra (markerat med gula rader)

NCC

SWEDAC ACKREDITERING 1523 ISO/IEC 17025

# RAPPORT

utfärdat av ackrediterat provningslaboratorium

TEST REPORT issued by an Accredited Testing Laboratory

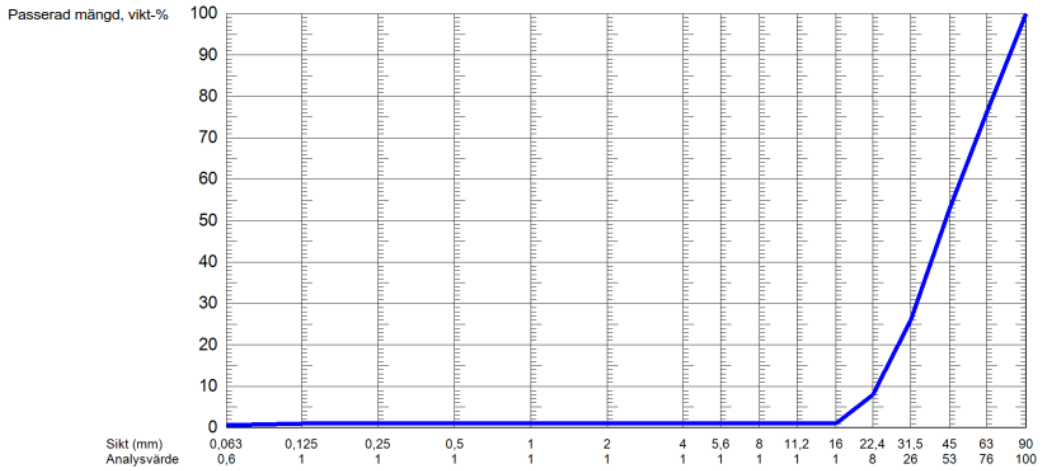
Provnr **170029**

## TILLVERKNINGSKONTROLL Stenmaterial

Sidan 1 av 1

| | | |
|---|---|---|
| Beställare<br>**NCC INDUSTRY AB** | Provtagningsdatum<br>**2017-01-25**<br>Ankomstdatum<br>**2017-01-25** | Analys start<br>**2017-01-26**<br>Analys slut<br>**2017-01-26**<br><br>Id-nummer |
| Produkt<br>**16/90**<br>Leverantör<br>**NCC INDUSTRY SKÄRLUNDA**<br>Entreprenör<br><br>Objekt | Referens nr<br>**69402118**<br>Provtagningsplats<br><br>Provtagare<br>**NERO**<br>Märkning | |

### Kornstorleksfördelning SS-EN 933-1




| Provresultat Kommentar | Medel-värde | Fraktion (mm) |
|---|---|---|
| **SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning**<br>**Enbart torrsiktning** | | |

Notering

Ort och datum

**LINKÖPING 2017-01-26**

***Provresultatet avser endast till laboratoriet inkommit prov.***
***(EA) = Ej ackrediterad metod. (E) = Enkelprov. Denna rapport får endast återges i sin helhet.***
***Kundbilaga finns på www.ncc.se/lab/***

**VIKTOR SÖDERBERG, Laborant**

Digitalt utfärdad signatur

**NCC Industry AB**
**Jägarvallsvägen 8C**
**584 22 Linköping**

Besöksadress **Jägarvallsvägen 8C**
Styrelsens säte **Solna**

Telefon nr **070-509 28 34**
Telefax nr **013-210051**

Org.nr **556302-3307**
VAT nr **SE 556302330701**

E-post **leif.soderberg@ncc.se**
Internet adress **www.ncc.se**