

CHALMERS



– Jämförelse mellan olika material i spåröverbyggnadens bärlager-
bärighets- och materialprovning av spårväg i Göteborg

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

SAMEER ABDELHAMID
QAIDAR KOCHAR

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Grupp Väg och trafik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007
Examensarbete 2007: 97

Examensarbete 2007: 97

– Jämförelse mellan olika material i spåröverbyggnadens bärlager-
bärighets- och materialprovning av spårväg i Göteborg

Sameer Abdelhamid
Qaidar kochar

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Grupp Väg och trafik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2007

– Jämförelse mellan olika material i spåröverbyggnadens
bärlager- bärighets- och materialprovning av spårväg i Göteborg

SAMEER ABDELHAMID
QAIDAR KOCHAR

© SAMEER ABDELHAMID, 2007
QAIDAR KOCHAR, 2007

Examensarbete 2007: 97

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för geologi och geoteknik
Grupp Väg och trafik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 1000

Omslag
Bilden på framsidan har tagits av Qaidar och Sameer i Vasastan

Chalmers reproservice/Institutionsnen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2007

The Comparing between the different materials in the bearing layer roads superstructure -Bearing capacity- and material investigation of tramway in Gothenburg.

Master's Thesis in the Master Degree Programme, Civil Engineering

SAMEER ABDELHAMID

QAIDAR KOCHAR

Department of Civil and Environmental Engineering.

Division of GeoEngineering

Group Road and traffic

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Tramways have been in Gothenburg already from the year 1879 by the English company (Gothenburg tramway). The electrical tramway has been used for the first time in the 1902.

Basically, the tramways consist of two parts, track substructure and the track superstructure which in turn consists of several layers such as resistant layer, bearing layer (carrier), reinforcement layer and terrace. Resistant layer works as a cover layer for the superstructure material and bearing layer carries the whole construction.

The superstructure carries the structure and transfers load to the substructure, and therefore it requires such properties that for example to hold trams load, as well as to resist vibrations that arise due to tram movement. The track substructure is also one of the main parts of the track. The substructure consists of a mass or a body of soil and its properties can be known by geotechnical investigation. Through impregnating the ground soil or by using frost isolation, frost damages in the ground can be avoided.

The main purpose of the master thesis is to compare the usage of the macadam class 2 (11-31,5 mm) and macadam class 2 special (8-31,5 mm) as well as to get knowledge about which of the classes gives a good result regarding settlement and deformation.

Generally, the result shows that the macadam fractions in both cases (11- 31,5 mm) and (8-31,5 mm) have almost the same physical properties. This means that deviations between both classes can not be known easily. The ideal curve in both macadam classes are within the curve boundaries which means that the both macadam fractions are acceptable according to sieve analysis. LA for both macadam class 2 (11-31,5 mm) and class 2 special (8-31,5 mm) have not fulfilled TK requirements. Micro - Deval for both macadam classes are validated according to Traffic office requirements ≤ 15 . LT (shape index) for both the fractions have not fulfilled $TK \leq 20$.

Plate loading that has been carried out in both Eketregatan on macadam class 2 (11-31,5 mm) and Guldheden on macadam class 2 special (8-31,5 mm) has shown that it has been well compacted.

Keywords: rail macadam, macadam class 2, macadam class 2 special, SS-EN, PMS, static Plate load

– Jämförelse mellan olika material i spåröverbyggnadens
bärlager- bärighets- och materialprovning av spårväg i Göteborg

Examenarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

SAMEER ABDELHAMID

QAIDAR KOCHAR

Institutionen för bygg- och miljöteknik.

Avdelning för geologi och geoteknik

Grupp Väg och trafik

Chalmers Tekniska Högskola

SAMMANFATTNING

Spårvägen har funnits i Göteborg redan från året 1879 med hjälp av ett engelskt bolag (Gothenborg Tramway). Den elektriska spårvagnen var i bruk för första gången i 1902.

I grunden består banan av två delar, banunderbyggnad och banöverbyggnad som består av flera lager som slitlager, bärlager, förstärkningslager och terrass. Slitlager fungerar som ytskikt för överbyggnadsmaterial. Bärlager har uppgiften att bära själva konstruktionen.

Överbyggnadslager bär konstruktionen och fördelar sedan lasten till undergrunden och det kräver sådana egenskaper som t.ex. att hålla motstånd emot spårvagnslaster och vibrationer som uppkommer av trafikerande spårvagnar. Banunderbyggnaden är också en huvuddel av banan som består av en jordkropp och genom att ta geotekniska undersökningar till hjälp kan man få veta vilka egenskaper den har. Genom att dränera vatten från kroppen eller att använda frostisolering kan man undvika frost och tjälprocess.

Huvudsyftet med examensarbetet är att jämföra användningen av makadam klass 2 (11-31,5) och makadam klass 2 special (8-31,5) i bärlagret av överbyggnaden samt få kunskapen om vilka av dem ger bättre resultat när det gäller sättningar eller deformationen.

Generellt visar resultatet att båda fraktionerna 11-31,5 mm och 8-31,5 mm har nästan samma fysikaliska egenskaper vilket betyder att det är svårt att utläsa avvikelse mellan båda klasserna när det gäller deformationer. Idealkurvan i båda makadamklasserna ligger i gränskurvan vilket gör att båda fraktionerna är acceptabla enligt siktanalys. Varken makadam klass 2 (11-31,5 mm) och klass 2 special(8-31,5 mm) uppfyller TK krav $LA \leq 20$. Micro – Deval för båda makadamklasserna är godkänd enligt Trafikkontorets krav ≤ 15 . Ingen av både fraktionerna uppfyller TKkrav LT (kantighet)

≤ 20 .

Plattbelastningsförsök som har utförts på både Ekeströgatan på makadam klass 2 (11-31,5 mm) och Guldheden på makadam klass 2 special(8-31,5 mm) har visat att packningen är god.

Nyckelord: makadamspår, makadam klass 2, makadam klass 2 speciell, SS-EN, PMS, statisk Plattbelastning.

Innehållsförteckning

ABSTRACT.....	I
SAMMANFATTNING.....	II
Innehållsförteckning	III
Bilagor.....	V
Förord.....	VI
1. Introduktion.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar.....	1
1.4 Metod	1
2. Generellt om spårvagn	2
2.1 Historik	2
2.2 Spårvägsmiljöer	3
2.2.1 Spår på egen banvall	3
2.2.2 Avskilt spår	3
2.2.3 Gatuspår	4
2.3 Uppbyggnad och funktion hos spåret	4
2.4 Räl	8
2.5 Sliper	10
2.6 Ballast	13
2.7 Banunderbyggnaden	14
3. Spårkonstruktioner	17
3.1 Asfaltspår	18
3.2 Betongspår	19
3.3 Edilonspår	19
4. Skador i spårkonstruktionen	23
4.1 Nedbrytningprocessen.....	23
4.2 Rälsslitage	24
4.3 Sättningar	25
4.4 Räfflor	26
4.5 Sprickor i rälen.....	27
5. Makadam.....	28
5.1 Allmänt	28
5.2 Egenskaper.....	29
5.3 Material och produktkrav för Makadam klass 1 och 2	30
5.3.1 Allmänt	30
5.3.2 Materiakrav	31
5.3.3 Produktkrav.....	31
5.4 Makadam klass 2 special (8-31,5 mm)	34
5.4.1 Allmänt	34
5.4.2 Materialkrav	34
5.4.3 Produktkrav.....	35
5.4.4 Färgkrav	36
5.5 Jämförelse mellan makadamballast TK klass 2 och TK klass 2 special.....	37
6. Labförsök	40
6.1 Siktanalys.....	40

6.1.1 Definition	40
6.1.2 Laboratorieanalys.....	41
6.2 Los Angeles	45
6.2.2 Laboratorieanalys	46
6.3 Micro Deval	46
6.3.1 Definition	46
6.3.2 Laboratorieanalys.....	47
6.4 Shape index (Kantighet) LT.....	47
6.4.1 Definition	47
6.4.2 Laboratorieanalys.....	48
6.5 Testresultat	49
7. PMS Objekt.....	50
7.1 Allmänt	50
7.2 Mål	50
7.3 Data för programmet.....	51
7.4 Resultat	55
7.4.1 Töjning i bitumenlager och i terrassyta	55
7.4.2 Trycktöjning.....	56
7.4.3 Tjälberäkning	56
7.5 Kommentarer	57
8. Plattbelastning.....	58
8.1 Syfte	59
8.2 Metodbeskrivning	59
8.3 Olika begrepp.....	59
8.4 Utrustning	60
8.5 Mätprincip.....	60
8.6 Förutsättning	61
8.7 Mätning	61
8.8 Utvärdering av mätresultat.....	62
8.9 Kontrollmätningen av överbyggnad	63
10. Slutsatser och rekommendationer	73
11. Referenser	74

Bilagor

Tjällyftberäkning med PMS Objekt	Bilaga 1
Tjällyftberäkning PMS Objekt med betongsliper.....	Bilaga 2
NCC lab (Siktanalys, LosAngeles, Microdeval och Kantighet).....	Bilaga 3
Bärighet och packningsgrad beräkning med Plattbelastning.....	Bilaga 4
Ekestråtan Normalsektion.....	Bilaga 5
Guldheden Plan och Normalsektion.....	Bilaga 6

Förord

Detta examensarbete är utfört på Göteborgs spårvägar i Göteborg på uppdrag av Trafikkontoret. Arbetet genomfördes från mars till augusti 2007.

Speciell tack går till vår examinator och handledare Gunnar Lannér på Avdelningen för geologi och geoteknik, Lena Törnros planeringsledare på Trafikkontoret i Göteborg och handledare Gerry Carlsson på Göteborgs spårvägar.

Tack till alla personer på NCC labbet på Tagenen och särskild Khalid Kader, Vägverket Konsult i Kungälv, Håkan Karlen på Flygfältsbyrån och alla som vi har varit i kontakt med under arbetets gång.

Göteborg, augusti 2007

Sameer Abdelhamid
Qaidar Kochar

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Spårvägens normalsektion består av olika lager slitlager, bärlager, skyddlager. Mest skadeproblem för vägen uppkommer från bärlager på grund av sättningar. Sprickor och krakelering vid rälen kan få vatten att rinna in i bärlager och bli tjälsprocess, Därför ska man koncentrera sig på detta problem.

I många Europiska länder använder man betong för bärlager och vägen kan hålla nästan 50 år men i Sverige använder man fortfarande makadam med olika fraktioner (11,2-31,5 mm eller 8-31,5 mm) som kan hålla i nästan 15 år. Anledningen till att använda makadam är att det är 3-4 gånger billigare än betong.

Göteborgs Spårvägar försökte under en lång period att få ett bra bärlager med hög bärförmåga. De använde makadam med fraktion 11,2-31,5 mm som kallas makadam klass 2. Den har blivit ersatt av makadam med fraktion 8-31,5 mm vilket kallas makadam klass 2 speciell. Ett att finare material 8-31,5 mm med fler kontaktpunkter att makadam binder ihop bättre när den packas.

1.2 Syfte

Huvudsyfte med examensarbetet är att jämföra användningen av makadam klass 2 och makadam klass 2 special samt få kunskaper om vilka av dem som ger bäst resultat när det gäller sättningar eller deformationen. Arbetet behandlar undersökning av makadam 2 special samt om den är bättre än makadam klass 2 genom att göra några prov som är beroende av materialegenskaper som Los Angeles och Micro-Deval samt oberoende prov som plattbelastning och packningsgrad.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet tog hänsyn till de prov som är vanliga i Sverige som t.ex. LA, LT, MD och siktanalys samt plattbelastning. Triaxialförsök och radioaktivmätare C200 är inte aktuella i examensarbete eftersom de kostar för mycket att göra. C 200 har inte använts i detta arbete därför att strålningen kommer att försvinna i makadam.

1.4 Metod

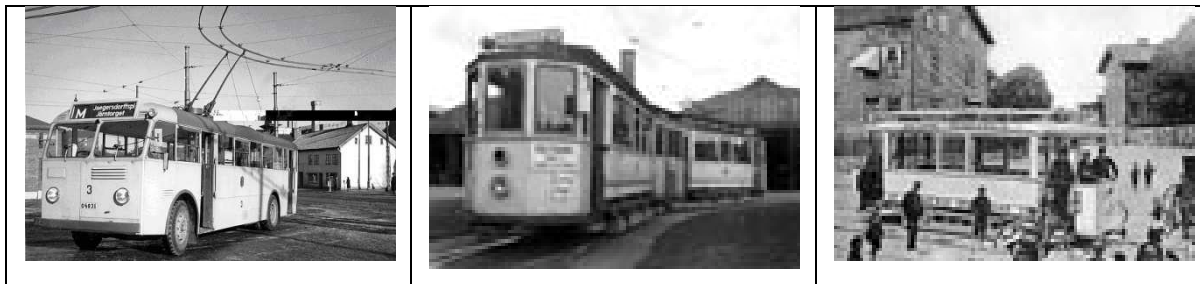
Arbetet bygger på att ta reda på fysikaliska egenskaper för makadam klass 2 (11,2-31,5 mm) och för makadam klass 2 speciell (8-31,5 mm) genom att

- testa båda fraktionerna i laboratorium med olika metoder, bl.a. Los Angeles, Micro-Deval och sikt analys.
- ta reda på bärighetsförmåga genom plattbelastning .
- jämföra med kraven som Göteborgs Spårvägar och Trafikkontoret ställer.

2. Generellt om spårvagn

2.1 Historik

Göteborg är en spårvägsstad där nio av tio använder spårvagnar och för Göteborgs stad är spårvägar en viktig del av infrastrukturen och utvecklingsprocessen. Se *figur 2.1*



Figur 2.1 Gamla spårvagnar

Tabell 2.1 Spårvagns historik

År	Händelse
1879	Öppnar Gothenburg Tramway av ett engelskt bolag och det räknas som den första spårvägslinjen i Göteborg.
1902	Ta i bruk den elektriska spårvagnen för första gången.
1940	Spårvägenslokalbanenätet når Hisingen.
1984	Leverans av den första ledspårvagnen.

Idag finns det cirka 200 spårvagnar och drygt 600 medarbetare som ser till att vagnarna rullar som de ska.¹

¹ <http://www.goteborgssparvagnar.se> (2007-04-20)

2.2 Spårvägsmiljöer

2.2.1 Spår på egen banvall

Spår på egen banvall är avskild från trafiken med hjälp av staket eller genom någon annan form, se *figur 2.2*. Underhållet på spåret på egen banvall är lättare än på gatuspåret eftersom det inte finns stora störningar från andra fordon.



Figur 2.2 Spår på egen banvall.

2.2.2 Avskilt spår

Man bygger det avskilda spåret genom att använda fysiska hinder eller markeringsområdet, t.ex. förhöjningen av kantsten vilket innebär svårigheter för bilar att köra på spårområdet, medan cyklister och fotgängare lätt kan passera dessa områden, se *figur 2.3*. Spår på ett avskilt område är inte lika skyddad från störningar som spåret på en egen banvall. Vingoltyp är den typ av rälererna som kan användas på det avskilda spåret.²



Figur 2.3 Spår på ett avskilt område.

² Hedström, 2004, (s.10)

2.2.3 Gatuspår

Gatuspår område används av spårvägen och andra fordon bl.a. cyklister och fotgängare och på grund av detta måste spåret vara i samma höjd som gatan, se *figur 2.4*. Gatuspåret är mycket underhållskrävande eftersom det finns andra fordon som har olika laster och kan skapa skador i överbyggnadsmaterial mer än spårvagnen själv gör.²



Figur 2.4 Gatuspår

2.3 Uppbyggnad och funktion hos spåret

Spårvägspåret är dimensionerad för mindre än 100 kN axellaster generellt. Rälshuvudet skall kunna stå emot tryck och sidkrafter i kontaktytan hjul-räls utan att skador uppstår alltför snabbt. Rälerna ska kunna överföra hjullasten till underbyggnaden så att trycket på undergrunden blir så lågt att inga oacceptabla sättningar uppkommer. En vanlig förekommande rälstyp vid spårvägen är gaturälen enligt figuren nedan. Se *figur 2.5* nedan.



Figur 2.5 Spårvägsräls.

Bana

En bana består av överbyggnad och underbyggnad.

Banunderbyggnad är allt som erfordras för att bära upp banöverbyggnaden.

Banöverbyggnad utgörs av ballast, sliprar, räler.

Överbyggnad

Överbyggnad definieras som olika naturmaterialskikt som ligger mellan terrassytan och ytskikt (rälen). Den består av naturmaterial, asfalt eller betong samt rälen. Överbyggnaden kan bära höga tryck (laster) och sprider sig till terrassytan. Detta sker genom att de ingående materialen har sådana egenskaper som sprider lasten.

De ingående materialen i överbyggnaden måste ha bra egenskaper som motstår förekommande tryck och vibrationer så att de inte deformeras. Överbyggnaden har till uppgift att fördela lasten jämnt över terrassytan så att sättningar är dels acceptabla, dels lika stora för spåret som för väggytan. Det finns emellertid flera krav. Om underbyggnadens material komprimeras under den pålagda lasten av överbyggnaden och trafiken sjunker terrassytan. Detta sker oftast ojämnt och då kommer både spåret och vägen att uppvisa ojämnheter.

Väggytan justeras rutinmässigt genom att man lägger på ett nytt, utjämnade slitlager. Åtgärder för spåret blir antingen att man får bygga så att terrassen under inga omständigheter rör sig mer än några millimeter om året eller också konstruera spåret så att dess sjunkning är obetydligt även om väggytan sätter sig avsevärt. I det tredje alternativet sjunker både spåret och vägen någon centimeter varje år men man har ett spår som enkelt kan justeras i höjd.

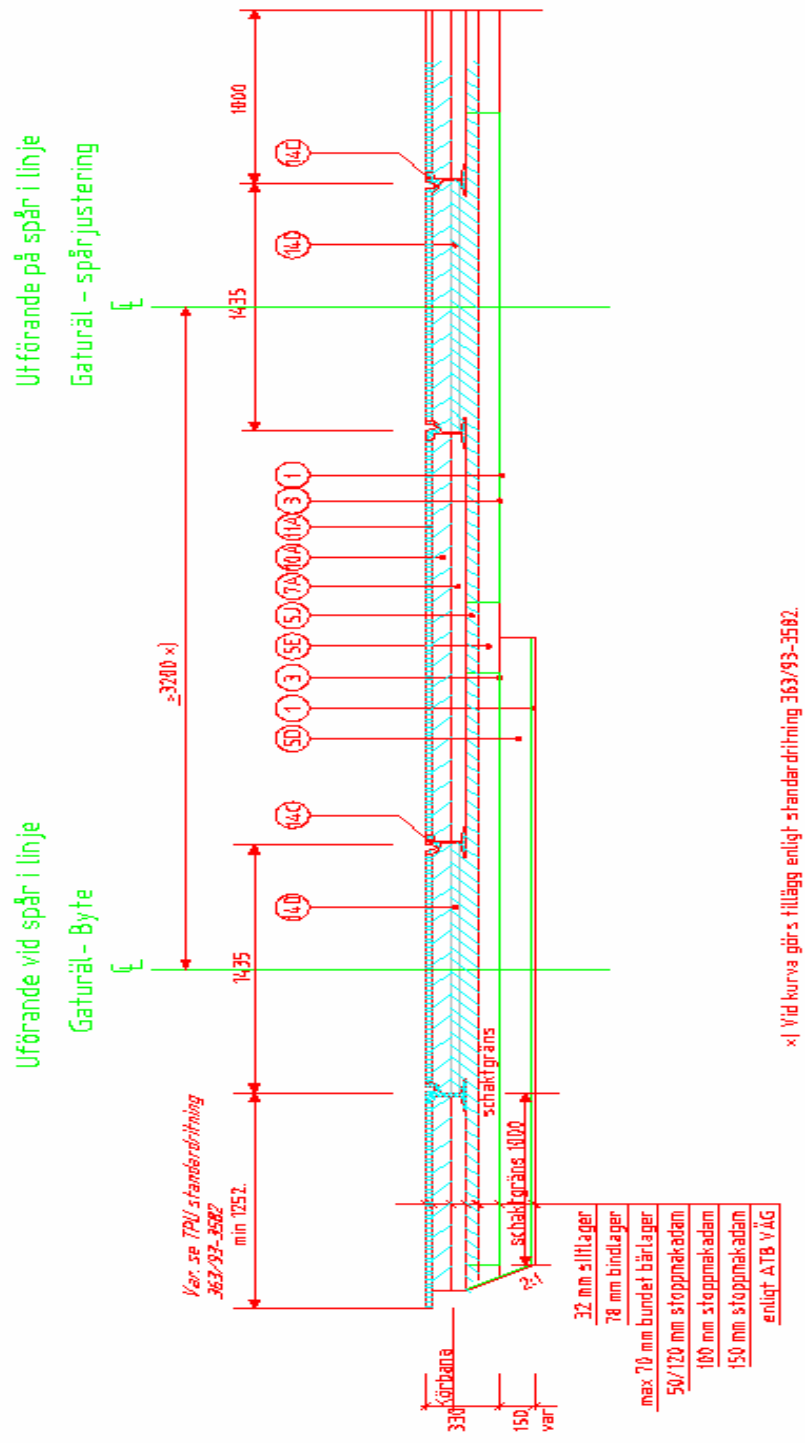
När man schaktar undan för att få plats med spårkonstruktionen kommer trycket på den underliggande terrassytan att försvinna. När spåret väl kommit på plats har lasten sannolikt ökat något beroende av densiteten hos det borttagna och tillförda materialen eftersom volymen är detsamma. Denna skillnad i last bör inte ge upphov till ökad sättningshastighet under förutsättning att lasten sprids jämnt över hela terrassytan. Om rälen vilar på ett underlag av krossgrus kan detta teoretiskt uppnås men i praktiken kan man aldrig undvika att lasten fördelas ojämnt. Till detta kommer den rörliga lasten från spårvagnarna plus vibrationen från hjulen. Undergrunden kan ha en sådan bärighet att detta aldrig blir ett problem men man får ändå räkna med att ballastmaterial långsamt omstruktureras och i viss mån krossas.

Generalt räknar man med att tjälen tränger ned djupare i spåröverbyggnaden än i ursprungskonstruktionen. Om man ersätter bärlagersgrus med betong kommer materialets värmekapacitet att sänkas och sedan negativt påverka materialets fuktinnehåll.

Överbyggnaden kan delas i tre funktionella delar:

1. Ytskikt som antingen endast är en ytbeklädnad eller också är avsett att fungera som slitlager åt den icke spårburna trafiken.
2. Själva konstruktionen som bär den spårburna trafiken. Denna del består av räler och något system av slipers eller liknande för att hålla rälererna på plats med ett konstant avstånd mellan dessa.
3. Sista delen är den bärande konstruktion som kan innehålla både bundna och obundna material.

Alla delar i överbyggnaden samverkar. Två principiellt olika faktorer påverkar nedbrytningen, trafiken på ytan och rörelse i materialet orsakad av tjälprocessen. Lasten på ytan åstadkommer antingen slitage eller en omlagring i underliggande lager. Tjälen leder till tjällyft eller till en förhöjd vattenkvot i material som i sin tur leder till permanenta deformationer förorsakade av trafiken på ytan. Se *figur 2.6* nedan.



Mått i millimeter om annat ej anges

Figur 2.6 Normalsektion

2.4 Räl

Gamla rälerna innehåll Aluminiumoxider rälerna och det orsakade inre fel som kunde leda till rälsbrott, men idag tillverkas rälerna med bra egenskaper och lång livslängd. Dåliga spårlägen, ojämnheter i räl och höga axellaster kan förkorta livslängden hos rälerna.

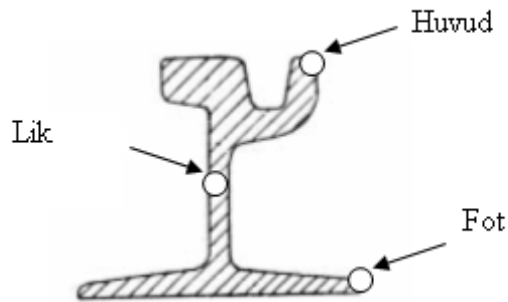
Tabell 2.2 rälsmodeller enligt EN 13674-1.³

Profil EN-13674-1	Tidigare namn	Höjd mm	Fotbredd mm
46 E1	SBB1	145	125
46 E2	U33	145	134
46 E3	NP46	142	120
46 E4	46 UNI 145	135	1688
49 E1	S49(DIN)	149	125
49 E2	S49T	148	125
49 E3	549(DIN)	146	125
49 E4	HUSH 113b	110	140
50 E1	U50E	153	134
50 E2	50EB-T	151	140
50 E3	BV50	155	133
50 E4	UIC50	152	125
50 E5	50 UNI	148	135
50 E6	U50E	153	150
52 E1	52 RATP	150	150
54 E1	UIC54	159	140
54 E2	UIC54E	161	125
54 E3	S54 (DIN)	154	125
55 E1	U55	155	133
56 E1	BS113 lb	159	140
60 E1	UIC60	172	150

Rälen består av ett rälshuvud med smaltlik och bred fot, se *figur 2.7*. Det är rälshuvudet som slits i spårtrafiken och det är sällan ett större rälshuvud ökar livslängden eftersom det är sidoslitage som ökar snabbare än totala slitag.

Np 4 och Np 4a var de äldre modeller som användes av Göteborgs Spårvägar och nu används istället nya modeller Ri 60 och Ri 60N på gatuspårnätet. På vignolnätet förekommer en rad olika rälprofiler bl.a. SJ 50, SJ 43, R 41 och S 49. Se *tabell 2.2*.

³ UIC(2003)



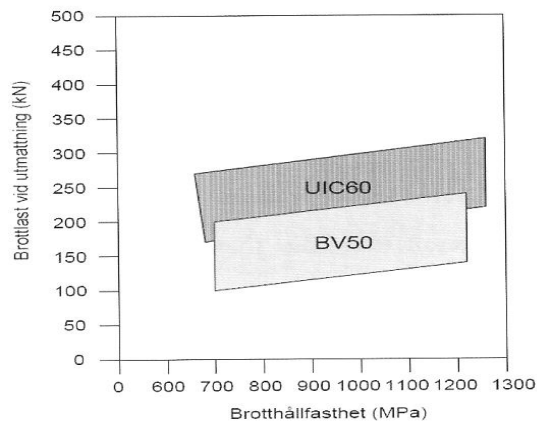
Figur 2.7 Spårvägsräls

De lokala spänningar i rälen som ökar utmattningen är:

- Ojämheter i rälshuvudet
- Skador eller sår i rälshuvudet
- Inneslutningar i stålet
- Termitsvetsfogar vid svulsten

Belastning i räler

För att nå den maximala livslängden för rälerna får den inte överbelastas eftersom den då kan orsaka höga tillskottskrafter pga. dåligt spårläge och sliprar som inte bär rälen ordentligt. Ungefärliga axellaster som är tillåtna för räler är $\frac{1}{4}$ av rälens brottgräns och $\frac{1}{2}$ av utmattningsgräns. SE figur 2.8.



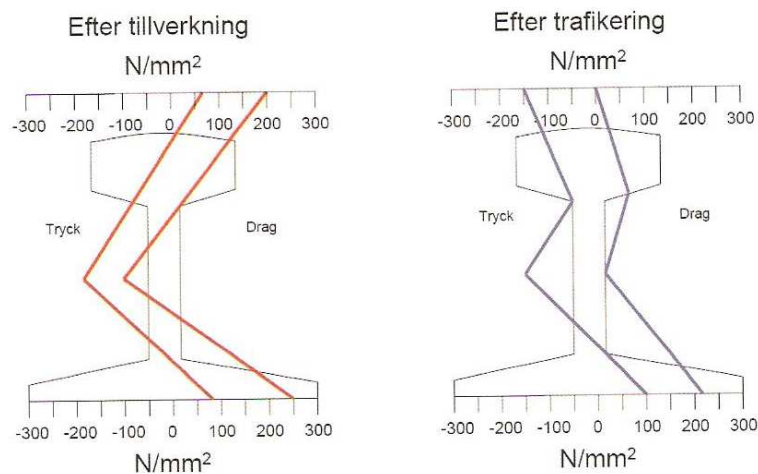
Figur 2.8 utmattningskapacitet.⁴

Rälens tillåtna spänningen kan minskas genom att minska axellasten, slipersförtätningen och grövre räl eller styvare sliper, se figur 2.9 nedan. Det finns många faktorer som påverkar den tillåtna rälsspänningen, bl.a.

- Inre rälsspänning som finns vid tillverkningen. $S_e = 80 \text{ N/mm}^2$

⁴ CDU-KTH, C.Esveld (2002)

- Temperaturspänning på 45°C är ofta $S_t=100 \text{ N/mm}^2$
- Korrosion, utmattningsmotstånd.



Figur 2.9 Egenspanningar i räler efter tillverkning och trafikering.⁵

Nedanstående *tabell 2.3* visar tillåtna spänningar genom mätningsprov.

Tabell 2.3 Gränsvärden för olika stålqualitéer.

Stål kvalitet	Utmattningsgräns	Sträckgräns	Brottgräns	Helsvetsat spår	Skarvspår
UIC60 (900A)	360 N/mm ²	540 N/mm ²	900 N/mm ²	200 N/mm ²	210 N/mm ²
S54 (900A)	360 N/mm ²	540 N/mm ²	900 N/mm ²	190 N/mm ²	200 N/mm ²
S49 (700)	280 N/mm ²	420 N/mm ²	700 N/mm ²	180 N/mm ²	190 N/mm ²

2.5 Sliper

Sliper används för att överföra lasten från rälen till ballasten och vidare till terrassen, vilket betyder att lasten sprids ordentligt till undergrunden. Den används också för att hindra spårvagnen att utknäcka av spåret särskilt i spårkurvor (sidofriktion), vilket ökar stabilitet i spåret.

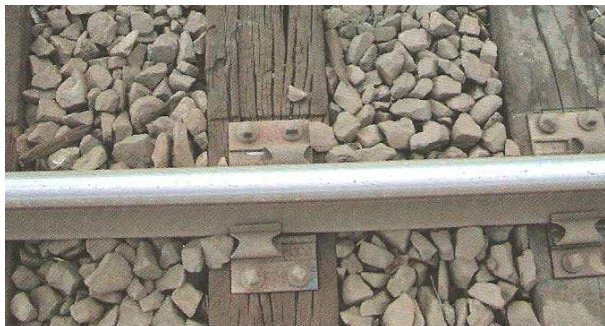
Slipers undersida bör vara skrovlig för att öka friktionen mellan makadam och sliper. Den måste tåla trycket från rälets fot och ha tillräcklig anliggningsyta så att den inte krossas av undersidan på sliper.

Först läggs rälsfoten direkt på sliper och sedan på underlagsplatta av stål för att trycket kunde sprida sig ordentligt och vilket samtidigt stoppade rälsfotens sjunkning av trafikbelastningen.

⁵ Coshammar, 2005,(S.45-50)

Det finns två olika typer av sliper:

- Träsliper, se *figur 2.10*.
- Betongsliper, se *figur 2.11*.



Figur 2.10 Träsliper



Figur 2.11 Betongsliper

Träsliper har bättre elasticitet än betongsliper, vilket innebär det att träslipern har bättre förmåga att ta emot impulslastar i spåret och att den skadas mindre än betongsliper av hjulplattan.

Träslipern har styvhet på 50-100 MN/m och den är hälften av betongslipers styvhet.

Träslipern har också en nackdel som innebär att det kan ruttna för tidigt jämfört med betongsliper.

Betongsliper ger ett stabilare spår, god spårvidd och längre livslängd, men däremot ställer betongsliparen större krav på den elastiska banans överbyggnad och banans underbyggnad, vilket innebär ren ballastbädd och fungerande dränering. Stor sten kan påverka betongspåret negativt och kan minska spårets livslängd.

Sliper kan skadas av räfflor samt korta och långa vågor i räls huvudet; man har mätt upp dubbelt så höga krafter i slipern till följd av räfflor.

Skador på betongsliper består av sprickor och avspjälkning. Sprickor i betongsliper uppstår vid överbelastningen i spåret vilket leder till utmattningen av sliper men de största tillåtna sprickorna får aldrig överskrida 0,6 mm på betongslipers sidor, se *fiur 2.12*. Större sprickor innebär att vatten kan tränga sig in och försvaga armeringen i slipern. Dynamisk last orsakar vibration i slipern på grund av hjulplattor. Räljämnheter som räfflor kan påverka betongsliper negativt.⁶

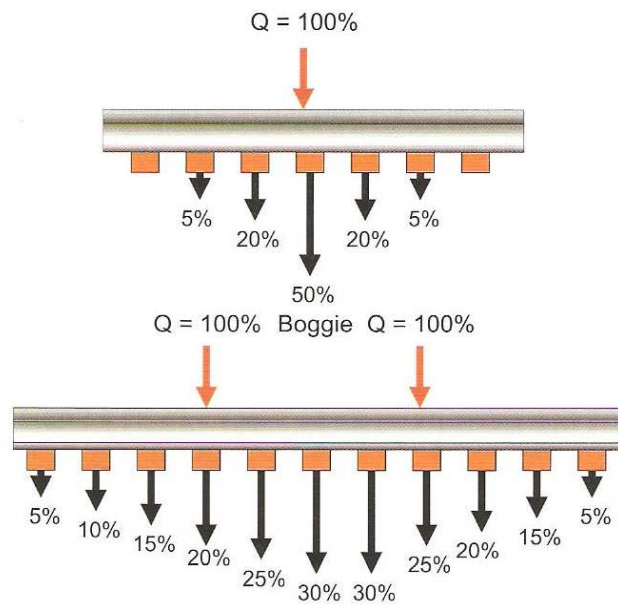
⁶ Coshammar, 2005,(S.53-67)



Figur 2.12 Slipersprickor

Lasten på sliper

Last sprider sig genom sliper i 60° vinkel ned till makadam vilket betyder att trycket från sliper mot ballastbädden kan minskas genom att öka tjockleken på slipern.



Figur 2.13 Lastspridningsvinkel i slipern.

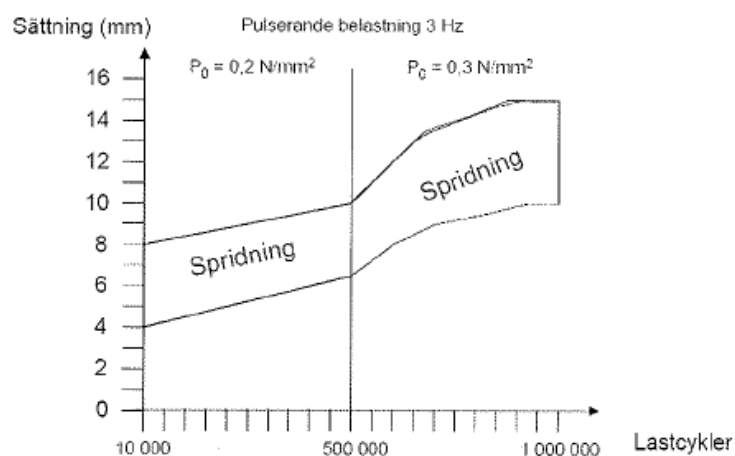
Ballasttrycket varierar eftersom det är beroende av ballastens struktur, spåråge och tiden efter den sista stopningen under slipern. SE figur 2.13.

2.6 Ballast

Ballasten har uppgiften att ta upp vertikala krafter från slipern och fördela dem ned till underbyggnaden utan att trycket blir för stort. Den ska också ge spåret bra sidostabilitet och hindra utknäckning av rälerne. Ballastbädden används för justering av spårålägsfel som orsakas av deformationen i banunderbyggnaden eller av tjäle och hindra vegetationen i spåret.

Elasticitet för ballasten kan försämrans när den blivit förorenad av ballastkross. Ett tunt ballastlager leder till stor ballastspänning vilket innebär ökad ballastkross, skador på betongslipern och ökade spänningar i banunderbyggnaden som också leder till ökningen i finmaterial och ger sättningar i spåret. Se figur 2.14.

Ballastspänningen kan minskas genom lägre last, grövre räl och större kontaktytan. När man gör underhåll av spåret, ska man ta hänsyn till stoppningen och spårjusteringen för att inte påverka spänningen i ballasten som leder till sättningar. Vid höga spänningar i ballasten sker sättningar fortare. ORE D 161,1 report 4 visar att spåret bryts ner om spänningen överstiger mer än 0,3 N/mm eller 0,3 MPa och för grusmakadam 0,1 MPa .



Figur 2.14 Sättningskurva relaterat till ballastspänningen.

2.7 Banunderbyggnaden

Banunderbyggnaden omfattar allt som erfordras för överbyggnadens uppbärande och har även till ändamål att utjämna terrängens ojämnheter. Den består i allmänhet av en jordkropp som endast avbryts av broar och tunnlar. Underbyggnaden besitter en viss elasticitet och medverkar därför till en mjuk gång hos spårvagnen.

För att fastställa markens bärighet och eventuella behov av grundförstärkning behöver man göra geotekniska undersökningar.

Frostaktiva eller tjälskjutande jordarter får inte förekomma i banan. De måste ligga på frostfritt djup. Man sätter skallbanans kropp först och sedan ballasten och spåret läggs ut sist innan spåret kan trafikeras.

Grundförstärkning

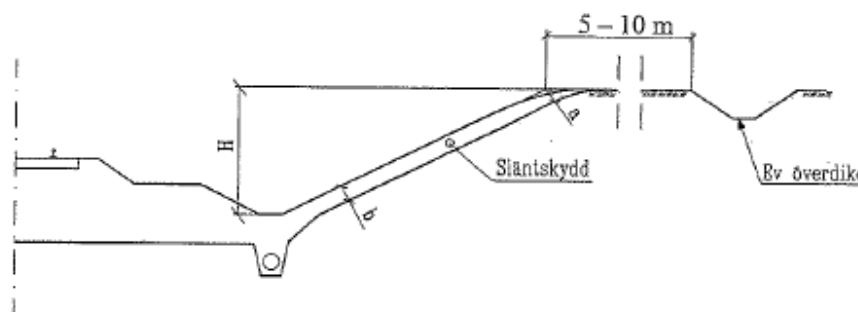
Förstärkningen med kalkpelare, kalkcementpelare eller tryckbankar är en vanlig metod som används vid nyproduktion.

Dränering

Tjälskador i spåret som uppkommer pga. dräneringen är vanliga framför allt i norra Sverige. Orsaken till dessa är flera olika faktorer bl.a. vinterklimatets stränghet, otillräckliga frostskydd och otillräcklig dränering. Det är inte lätt att lyfta och understoppa spåret på vintern eftersom denna metod är dyr, arbetskrävande och även ger dåligt spårläge. SE *figur 2.15* nedan.

Det finns flera metoder som används för att få bort uppfrysningar:

- Dränering av bankroppen
- Högloft av spåret
- Olika metoder för frostisolering av spåret.⁷



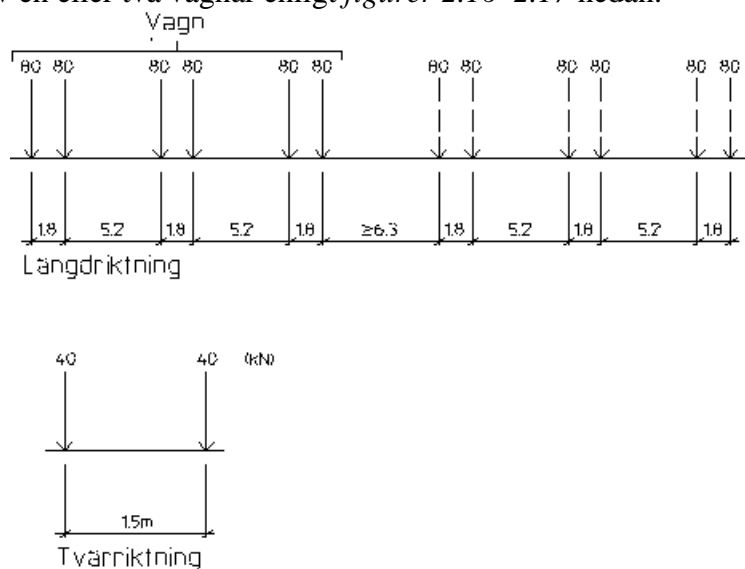
Figur 2.15 Dränering av bankropp.

⁷ Spårprojektering, Banverket

2.8 Spårvagnslast:

– Spårvagnslast SPV 1

Spårvagnen består av en eller två vagnar enligt *figurer 2.16–2.17* nedan.



Figur 2.16 Lastfördelningen för SPV 1

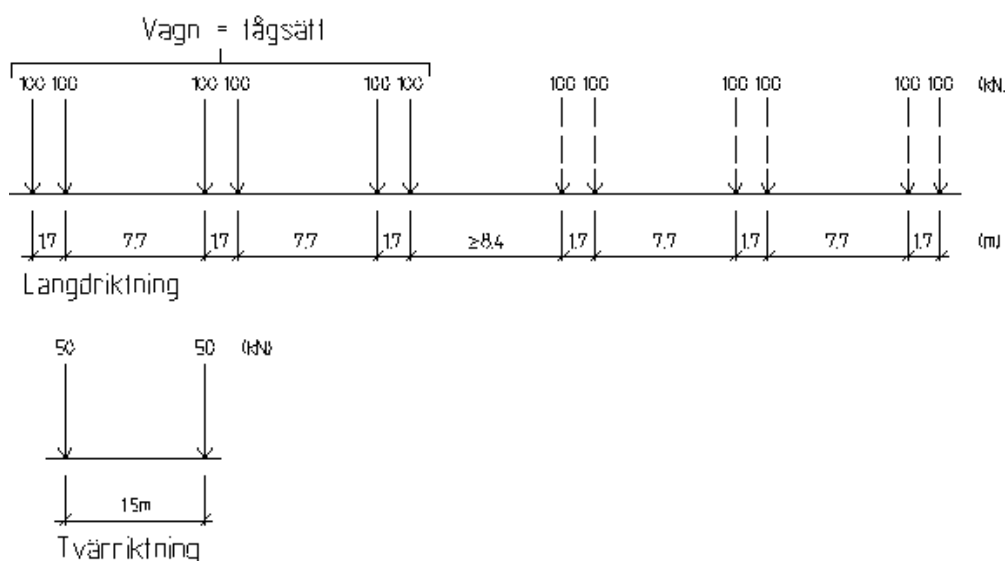
Vid beräkning av konstruktionens delar skall lasten vara uppställd för varje del och varje snittstorhet på mest ogynnsamma sätt, varvid flera spårvägsätt samtidigt kan antas belasta konstruktionen med ett fritt avstånd ≥ 20 m.

Ett antal spårvagnars last placeras på ogynnsamt sätt på avstånd ≥ 6.3

Dynamiskt tillskott uppkommer vid fler än fyra vagnar som följer varandra genom direkt anslutning.

– Spårvagnenslast SPV 2

Spårvagn består av en eller två vagnar enligt figur nedan



Figur 2.17 Lastfördelningen för SPV 2

Lasten skall vara uppställd för varje del och varje snittstorhets på mest ogynnsamma sätt vid beräkningen av en av konstruktionens delar. Vid flera spårvägsätt samtidigt kan konstruktionen vara med ett fritt avstånd ≥ 20 m.

Ett antal spårvägsätt placeras på ogynnsamT sätt utan fritt avstånd ≥ 8.3

Dynamiskt tillskott uppkommer vid fler än fyra vagnar som följer varandra genom direkt anslutning.⁸

⁸ www.trafikkontoret.goteborg.se/tpu (hämtad den 1 maj 2007)

3. Spårkonstruktioner

Infrastrukturen för spårvägen är en viktig del och den lösningen som från början väljes kommer att påverka framtida drift och underhåll.

Spårvägen kan karakteriseras med avseende på vilket ytskikt det färdiga spåret utformas med. Det finns flera faktorer som kan vara avgörande för valet av ytskikt som t.ex. ekonomiska förutsättningar, trafik och stadsmiljö. Ytskiktet kan vara asfalt eller betong. Ett ytskikt av asfalt eller betong kan färgas i en avvikande färg för att få ett mer estetisk tilltalande spårrområde eller kan även vara ett sätt att fästa och uppmärksamheten på att här ligger ett spårvägsspår. Betongens ytskikt kan även mönstras av estetiska skäl eller för att på ett tydligt sätt markera själva spårområdet.

Ytmaterialet i överbyggnaden måste vara kemiskt och mekaniskt stabil samt tjälsäker även på lång sikt. Materialet får inte orsaka korrosion på betong och stål och får inte heller orsaka miljöskador på omgivningen. De vanligaste materialen som utnyttjas i överbyggnaden i samband med spår i gatutrafik är markbetong, asfalt eller gatsten.

Valet av beläggningsmaterial beror på:

- Trafiklast från spårvagnstrafik och övrig gatutrafik
- Beläggningsens estetiska utseende.
- Vilken bullernivå i omgivningen som respektive beläggningsmaterial ger upphov till.

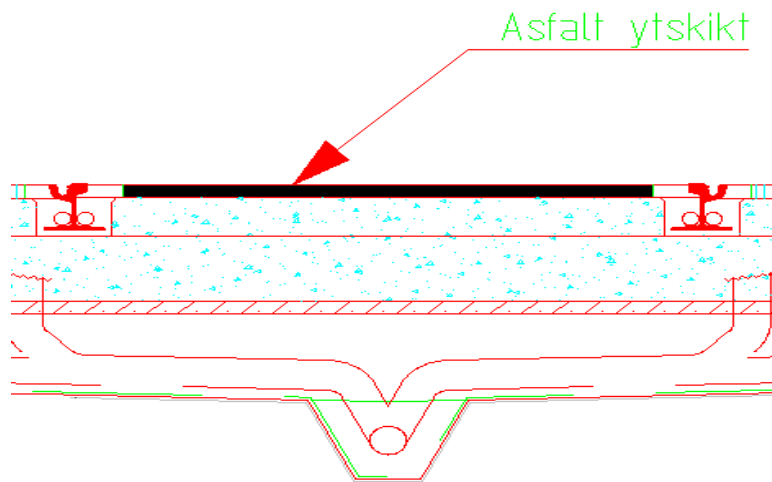
I korsningar där spåren utsätts för stora trafiklasterna används ofta markbetong som slitlager. Markbetong är dyrare än asfalt men är betydligt starkare som slitlager. Asfalt används i vanliga fall som slitlager i spårområdet. Spårområdet kan även beläggas med gatsten. Nackdelen med gatsten är att den är dyr och läggningen kräver manuellt arbete och ger mer buller än asfalt. Se *figur 3.1* nedan.



Figur 3.1 Exempel på spårvägsspår med gatstenens ytskikt.

Generellt sätt finns det tre olika typer av spårkonstruktion-makadamspår, asfaltspår och betongspår. Att välja en typ av dem beror på undergrundens egenskaper, ekonomiska förutsättningar, trafik och stadsmiljö.

3.1 Asfaltspår



Figur 3.2a Den principiella uppbyggnaden av asfaltspår.

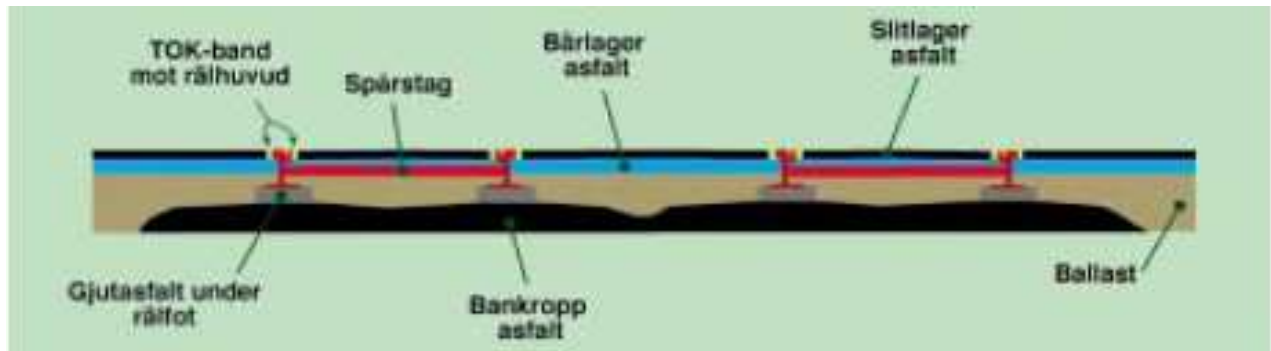
I konstruktionen är bankroppen uppbyggd av asfaltlager där rälerorna placeras och mellan rälfoten appliceras ett lager av gjutasfalt för att säkerställa spårets horisontella läge. Ett lager med ballast ligger under asfaltlagret och till sist ligger ett slitlager av asfalt, se *figurer 3.2a-b*. Avståndet mellan rälerorna säkerställs med hjälp av spårstag. TOK- band som består av ett gummiliknande material läggs mellan asfaltens slitlager och räls huvudet.



Figur 3.2b Asfaltspår under byggnation.

3.2 Betongspår

Betongspåret kan delas i tre olika grupper:
Betongplatta – ballast - betongöverbyggnad
Betongplatta – ballast- asfaltöverbyggnad
Betongplatta – betongöverbyggnad (Edilonspår)

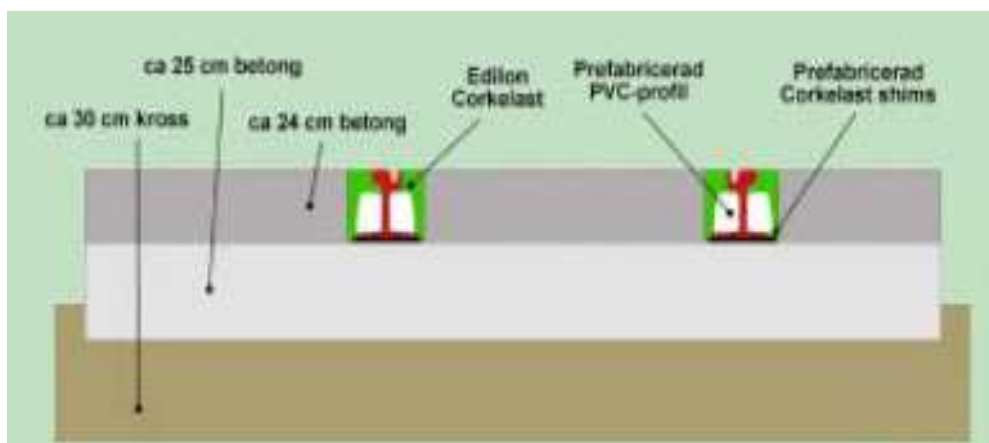


Figur 3.3 Principiell uppbyggnad av betongspår med betongöverbyggnad.

I konstruktionen läggs ett slitlager av fiberbetong och under detta ett grusbballast lager och sedan betongskikt där rälerna placeras. Mellan rälerna finns spårstag med syfte att säkerställa rätt spårvidd mellan rälerna. TOK som består av ett elastiskt gummimaterial placeras mellan räalhuvud och spårkonstruktionens ytskikt. SE figur 3.3 ovan.

3.3 Edilonspår

Edilonspår är en vanlig typ av betongspår och denna konstruktion är uppbyggd av två betongskikt utan ballastlager i spåret, se figur 3.4. I det översta betongskiktet placeras rälerna genom att göra två parallella ursparingar i betongen, se figur 3.5.⁹



Figur 3.4 Edilonspårets principiella uppbyggnad.

⁹ <http://www.jarnvagsskolan.se> hämtad (den 5 maj 2007)

I nedansående *tabell 3.1* visar för-nackdelar för Edilonspår:

Tabell 3.1 För- och nackdelar för Edilonspåret

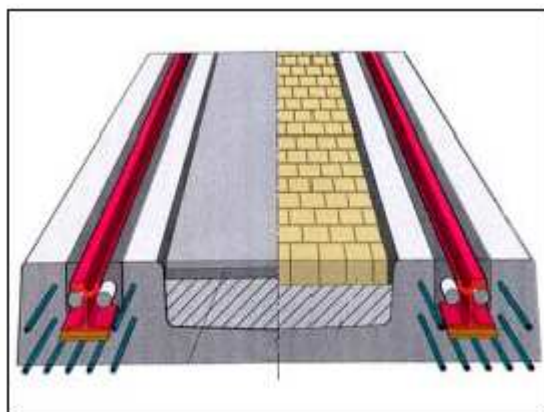
Fördelar	Nackdelar
<ul style="list-style-type: none">• Minimal konstruktionsvikt och konstruktionshöjd.• Låg livscykelnskostnad• Liten underhållskostnad• Integrering med vägtrafiken• Den kan byggas på flera sätt• Den ger mindre buller och vibrationer• Installationen görs snabbt och enkelt.	<ul style="list-style-type: none">• Toleranserna på ± 1 mm både vertikalt och horisontalt• Höga anläggningskostnader• Stora krav på att spåret är rätt justerat från början på grund av snäva toleranskrav



Figur 3.5 Edilonspåret

Infundospår

Infundospår är en spårkonstruktion som liknar Edilonspår. Betongplattan mellan båda rälerna kan fyllas med lämpligt jordmaterial, se *figur 3.6* nedan. Fördelarna med Infundospår är att det har en lång livslängd och är enkelt att underhålla. Det har också en dämpande effekt på oljud och vibrationer. Nackdelen är bland annat att det är dyrt och kräver stor noggrannhet.



Figur 3.6 Principbild för Infundospåret

Tabell 3.2 visar användningsområdet för betongspår samt för- och nackdelar för den formen av spåret.

Tabell 3.2 Användningsområdet för betongspår.

Betong/Kross-asfalt	Betong/Kross-betong	Betong/Betong
Där lera finns i undergrunden i samtrafik/kollektivtrafik på linjen Låga kostnader för ersättnings trafik.	Där lera finns i undergrunden i samtrafik/kollektivtrafik/hållplatser. Vägöverfarter	Där lera finns i undergrunden i samtrafik/kollektivtrafik/ start trafikerad. områden som ej bör störas ofta
Positivt	Positivt	Positivt
Läggst investeringskostnad stabil spår vattnet ligger ej kvar på ytan	Bättre bärighet än asfalt Estetik Stabil spår	Hög bärighet Lång livslängd Kortbyggd och lågtljud
Negativt	Negativt	Negativt
asfaltsskador utanför spåret svårighet att packa krosslagret	Spickor vid växlar och brunnar små detaljer som är dyra vid byggnation	Allt måste tätas vid byggnation. Tuffa tolerans krav

Kostnader för spårvägens infrastruktur

Kostnaden redovisas som totalsumman av kostnaderna för spåret och övrig infrastruktur, så det blir svårt att veta vad som är inkluderat i kostnaderna för infrastruktur. I allmänt har det visat sig att kostnaderna för infrastruktur är cirka 75 % av totala kostnader och för spåret cirka 25 % av de totala kostnaderna enligt *tabell 3.3*. Problemet med att få en mer exakt bild över kostnader för spårvägens infrastruktur är att det saknas bra beräkningsmodeller som kan bedömas alla förutsättningar som råder denna typ av beläggningar. Det finns ett antal olika spårkonstruktioner som är mer eller mindre komplicerade. För att få en riktig bild av kostnaden för bygg- och materialkostnad kan man se *tabell 3.3* nedan.

Tabell 3.3 Ungefärlig kostnad för olika spårkonstruktion¹⁰

Spårkonstruktion	Kostnad miljoner kr/km
Asfaltspår med räler i makadam	9
Betongspår med asfaltöverbyggnad	17
Edilonspår	17

Som framgår av tabellen är betongspår ungefär dubbelt så dyrt som asfaltspår. Faktorer som påverkar kostnaden är bland annat svårighetsgrad, konstbyggnader det vill säga broar och tunnlar. En annan aspekt som påverkar kostnaden är det faktum att spårvägsspåret ofta byggs i stadsmiljö med trånga utrymmen som i *figur 3.7* nedan.



3

Figur 3.7 Arbetsplats för spårvägsuppbyggnad

När det gäller kostnadsbilden måste man ta hänsyn till kostnader för ersättningstrafik och framtidens underhåll.

¹⁰ Håkan, möte samt www.trafikkontoret.goteborg.se

4. Skador i spårkonstruktionen

Eftersom det finns idag många typer av spårkonstruktioner, kommer det att uppstå olika typer av skador på själva konstruktionen. Klimatförhållandet, laster och undergrundens egenskaper är några faktorer som påverkar skadorna i spårvägsspåret.

4.1 Nedbrytningprocessen

Nedbrytningen får aldrig påverka säkerheten på trafiken och får inte gå för långt för då blir underhållet dyrt på grund av att det behövs en mer omfattande insats än om det gjorts i rätt tid.

I ett trafikerat spår går nedbrytningen långsammare än det gör i det otrafikerade spåret eftersom vegetationen håller sig tillbaka under längre tid men vegetationen kan ändå ta över banan och underhåll blir då nödvändigt.

Ballasten bör vara fri från vegetation så att den inte antänds av glödheta bromsflagor från blockbromsarna. Vegetationen samt olika växtrester i spåret binder fukt, vilket leder till uppfrysningar och att spårstabiliteten försämras. Fukten i ballastbäddan betyder också att friktionen mellan överbyggnadsmaterial och stenen kan minska och spåret kan blir instabilt. Genom underhållet kan man stoppa den oönskade naturliga nedbrytningen av banan.

Faktorer som kan påverka nedbrytningen är:

- Axellast (vertikal och statisk)
- Acceleration och retardation
- Temperaturskillnader i räler
- Centrifugalkraft i kurvor
- Vind (mest lateral och dynamisk)
- Byggnadstekniska faktorer

I ett idealt spår läge förekommer det inga dynamiska tillskottskrafter så axellasten betraktas då som statiskt och vertikalt verkande. Tyngre axellaster ger större vertikalkrafter på spåret.

Acceleration och retardation påverkar spåret dynamiskt vilket leder till att räler med spikbefästningar lätt kan förskjutas så att skarvlägena förändras eller snedsätts.

Temperaturskillnader i spåret verkar i longitudinell riktning och statiskt och beror på rärens längdutvidgning i värme och krympning i kyla.

Trafikbelastningen delas in i kvasistatisk, statisk och dynamisk axellast. Kvasistatisk axellast uppstår i kurvor av centrifugalkraften och verkar lateralt och vertikalt då hjulaxlarnas belastning omlagras. Hjulaxellasten ändras från en jämn fördelning i rakspår och från inneräl till ytteräl vid hög hastighet i kurvor och från ytteräl till inneräl vid hastighet. Statisk axellast kommer av fordons egen vikt.

Vindlasten påverkar spåret mest dynamiskt därför att vindens kraft och vinkel ändras utmed spåret.

Byggnadstekniska faktorer beror av dimensioneringen av överbyggnad, material i undergrund och överbyggnad, avvattning och dränering samt produktionsfaktorer.

Dynamiska axellaster är de extra krafter som uppstår pga ojämnheter i räler, hjul eller spårläge. Det inträffar i räls huvudet pga räfflor, vågor, slirsår och fordonshjulen.

Hastighetsvariation är relaterad till dynamiska tillskottskrafter där en hög hastighet ger högt tillskott och låg hastighet ger lågt tillskott. Impulslaster påverka spåret negativt eftersom de uppstår mycket snabbt och kan vara 25 % högre än tillåten axellast och det ta kan leda till sprödbrott i rälen.

- Nedbryttningshastigheten i spåret varierar kraftigt utmed banan mellan olika sektioner.
- Nedbryttningshastigheten är konstant och påverkas av underhållets kvalitetetsnivå.¹¹

4.2 Rälsslitage

Rälsslitage och rälskador inträffar på hela spårsystemet och det orsakas allmänt av slitage på ovansidan och på sidan av kontaktutmattning mellan hjul, räl och skarvslag i räländar och korsningar.

Rälsskador uppstår som slirsår, avflagningar av rälsytan, invalsningar och intryckningar i rälen. Slirsår orsakas av slirande hjul som snabbt värmer upp rälen som sedan snabbt kyls ned så att martensbildning uppstår, vilket innebär att användningen av ultraljud inte fungerar då avflagningar på rälsytan kan uppstå efter att materialet från räls huvudet har lossnat.

Det finns olika typer av rälsslitage bl.a. vignolrälsslitage, gaturälsslitage och sinuslitage.¹²

¹¹ Corshammar, 2005, (s. 25-40)

¹² Corshammar, 2005, (s. 40-50)

Boberg, 2006, examensarbetare

4.3 Sättningar

Ett vanligt problem i gatuspår är blandad trafik där det uppstår en höjdskillnad mellan rälets farbana och ytskikt som orsakar sprickor och ger vattnet en chans att tränga sig i spårkonstruktionen som vid klimatändringen kan leda till uppfrysningen och sedan till sättningen.



Figur 4.1 Sättningar i spårvägsspår

I *figuren 4.1* ser vi att spåren ligger på en högre nivå men det kan också bli tvärtom där spårvägsspåret ligger på en lägre nivå. Denna typ av sättningar kan innebära problem för spårtrafiken samt andra fordon.

Tjäle och tjällossning

Ojämna tjällyftningar under vintern och kraftigt reducerad bärighet under tjällossningen orsakar avsevärda problem för trafikanten, transportnäringen och väghållaren. Klimatbelastningar i kombination med trafikbelastningar medför ett accelererat nedbrytningsprocessförlopp. Att bromsa detta förlopp kräver stora ekonomiska resurser.

Begreppet tjällyftning och tjällossning

När överbyggnaden och undergrunden exponeras för negativa temperaturer uppstår temperaturgradienten, vilket i sin tur inducerar ett uppåtriktat värmefflöde. Samtidigt som värmen transporteras bort från fryssfronten sjunker temperaturen och iskristaller bildas samt sammanväxer plana islinser. Den ojämna tjällyftningen i vägens tvärlängd är betingad av ett större tjäll djup i vägmitt än i vägkanterna och ger upphov till en överdriven bombering samt även tjällsprickor med krackelering som följdproblem. Eftersom islinsernas tillväxt beror på en mängd olika faktorer, som även inom ett begränsat område kan variera kraftigt, blir tjällyftningen i vägens längdled ofta ojämn. Dessutom kan kombinationen av tjällyftningar i vägens tvär- och längdled ge felaktiga skevningar i

kurvor. Tjälningen medför normalt accelerering av nedbrytningsförloppet i överbyggnaden samtidigt som transportkapaciteten och trafiksäkerheten sjunker. Om inflödet av värme till frysfronten är lika stor eller större än utflödet av värme. Värmeutflödet blir större (t.ex. när yttemperaturen sjunker), sjunker temperaturen vid tjälfronten under begränsningsytan och vatten hinner inte tillräckligt snabbt strömma till för att bygga på islinsen. Istället skapas en ny islins ett stycke nedanför den tidigare där ett optimum råder beträffande utflödet av värme och tillförsel av vatten. Islinnsbildningen och vertikal förskjutning fortsätter oavbrutet så länge ett optimalt förhållande existerar mellan följande faktorer:

- Jordmassans sammansättning
- Värmeledningens hastighet
- Vattentillförseln från ofrusna lager
- Rånade överlagringstryck

Störs balansen mellan dessa faktorer (t.ex. om yttemperaturen sjunker och värmeutflödet från frysfronten ökar), börjar en ny islins bildas på den nivå där optimum råder. Islinserna orienteras i regel vinkelräta mot värmeledningens riktning, dvs. parallellt med markytan. Islinsernas horisontala utbredning beror på hur homogent jorden är, men är däremot också beroende av en mängd faktorer som permeabilitet temperatur gradient, vattentillförsel och jordart.

4.4 Räckflor



Figur 4.2 Räckflor i spåret (Foto: Infrateknik AB)

Räckflor finns på rälets farbana och ger till bl.a. buller och vibrationer i fordonet som påverkar åkkomforten genom skakningar, se *figur 4.2*. Det finns ingen tydligt förklaring till räckflor i spårvägsspår eller i järnvägsspår med det beror ofta på olika faktorer som exempelvis vagnens konstruktion, spårkonstruktion, räler och hjulmaterialet samt trafikbelastningen.

4.5 Sprickor i rälen

Orsaken till sprickor i rälen kan bero på olika faktorer, t.ex. räls materialet och fordonshjulen. Via ultraljudskontroll kan sprickor i rälsen upptäckas. Mindre sprickor på rälsens farbana kan elimineras genom påläggsvetsning eller slipning men djupgående sprickor måste lagas, se *figur 4.3*.¹³



Figur 4.3 Sprickor i rälen

¹³ www.trafikkontoret.goteborg.se/tpu (2007-05-07)

Corshammar, 2006, s. 70-80

<http://www.jarnvagsskolan.se> (2007-05-08)

5. Makadam

5.1 Allmänt

Det finns två sorter av stenmaterial: singel (grus) och makadam.

Makadam:

Makadam är ett stenmaterial som hämtas ur berg. Efter sprängningen krossas stenen och siktas i flera steg till en mängd olika storlekar.

Singel och grus är ett naturmaterial som hämtas ur en rullstensås och siktas i olika kornstorlekar.

Skillnaden mellan makadam och singel är att makadam har en ojämn kornform medan singel har en rundad form, bortsett från stenens geologiska sammansättning, se *figur 5.1*.

Det innebär att makadams korn inte glider mycket mot varandra som singel vilket betyder att makadam är mer stabilt än singel.

Makadamens olika användningsområde:

- I betong och asfalt
- Till slitlager på grusvägar. Makadam är en bättre lösning än grus eftersom kornen fäster bättre och ligger kvar under en längre tid.
- Som dränering runt och under huset.
- Som ytbeläggning på gångvägar eller planer där en viss karaktär önskas.¹⁴



Figur 5.1 Olika typer av makadam

¹⁴ www.sydsten.se (2007-05-10)

Hansson & Kennedy, Vägteknik lektion, (2007-05-10)

5.2 Egenskaper

- **Krossytegrad (gäller naturgrus):** Ytråhet måste vara tillräckligt hos materialet för att minska risken för att kornen glider mot varandra med stabilitetsproblem och spårbildning som följd.
- **Nötningsegenskaper:** ett bra nötningsmotstånd krävs för att material i bärlager och förstärkningslager skall kunna tåla trafik under byggtiden.
- **Motstånd mot fragmentering (slagshållfasthet):** Materialet måste ha tillräckligt slagshållfasthet för att klara av tung trafik.
- **Finmaterialkvalitet:** andelen finmaterial skall inte vara för stor för att inte ge vattnet en möjlighet att tränga i bärlager och bli tjällfarlig.
- **Kornstorleksfördelning:** kornkurvan skall vara öppen. Passerande mängd stora kornen ska vara tillräcklig för att antalet kontaktpunkter ska bli stort. Detta ökar stabiliteten.
- **Packningsgrad:** packningsmetoder (statistik och vibrerande) samt antal överfarter har stor betydelse för vägens stabilitet.
- **Petrografi :** innebär att undvika skadliga mineral så som glimmer (påverkar vattenhållning egenskaper, nötningsmotståndet och stabiliteten negativt).
- **Organisk halt:** bryts ned och ger permanent deformation.

5.3 Material och produktkrav för Makadam klass 1 och 2

5.3.1 Allmänt

Makadam är klassat i kornstorleksfördelning enligt Trafikkontoret, se *tabell 5.1–5.2* nedan.

Makadamballast TK klass 1 (32-63 mm)

Tabell 5.1 Kornstorleksfördelning för klass 1

	0.063 (mm)	11.2 (mm)	22.4 (mm)	31.5 (mm)	40 (mm)	64 (mm)	80 (mm)
Klass 1 0.5%	≤ 0.5	≤ 3	0-10	0-20	20-90	≥ 90	100
Klass 1 2%	≤ 2	≤ 3	0-10	0-20	20-90	≥ 90	100

Makadamballast TK klass 2 (11-32 mm)

Tabell 5.2 Kornstorleksfördelning för klass 2

	0.063 (mm)	4 (mm)	11.2 (mm)	22.4 (mm)	33.5 (mm)	40 (mm)
Klass 2 0.5%	≤ 0.5	≤ 3	0-20	50-70	≥ 90	100
Klass 2 2%	≤ 2	≤ 3	0-20	50-70	≥ 90	100

5.3.2 Materiakrav

– **Råmaterial:**

Råmaterial kan fås av bergeurspräng och leda till att man kan tillverka makadam.

– **Bergarter och material:**

Enligt SP-metod 1441, utgåva 3 ”Petrografisk analys av sand, grus och sten ” skall utföras för bergarter. Enligt SS 13 21 25 Betongprovning, ballast, korndensitet och vattenabsorbtion” skall bestämmas. Godkänt material ska absorbera 1.0 % vatten.

- **Sprödhetstal**

Enligt FAS metod 210 ”Bestämning av sprödhetstal” skall sprödhetstal bestämmas, på fraktion 11.2–16 mm. Flisighetstalet skall bestämmas enligt FAS Metod 209 ”Bestämning av Flistighetstal ” på fraktion 11.2–16 mm. Flistighetstal för material till sprödhetstal skall vara 1.35 ± 0.05 .

Sprödhetstal skall vara ≤ 50 .

– **Los Angelestal:**

Enligt Los Angeles ASTM C 535 skall provning utföras.
Los Angeles skall vara ≤ 18 .

– **Kulkvarnsvärde:**

Kulkvarnsvärdet skall vara ≤ 14 mätt på fraktion 11.2–16 mm enligt FAS Metod 259.

5.3.3 Produktkrav

I allmänt produktkrav som gäller för makadamballast klass 1 och klass 2 tar man hänsyn till finjordhalten 0,5 % och 2 %.

1- Kornstorleksfördelning

Denna bestäms enligt Siktninganalys (SS-EN 933-1) och ur R20-serien (Ballast-Geometriska egenskaper-Del2: Bestämning av kornstorleksfördelning – Siktar, öppningarnas nominella storlek). Siktning bör utföras enligt FAS metod 221.

Tabell 5.3 Kornstorleksfördelning för klass 1 och 2

0,063 mm	Klass 1 och 2
4 mm	Klass 2
11,2 mm	Klass 1 och 2
22,4 mm	Klass 1 och 2
31,5 mm	Klass 1 och 2
40 mm	Klass 1 och 2
64 mm	Klass 1
80 mm	Klass 1

2- Kornform

Under varje produkt finns krav och metoder för verifiering av produkten. Kornets tjocklek definieras som bredden hos den minsta spalt vilken kornet kan passera.

3- Kantighet

Kraven kan vara uppfyllda när produkten är nyproducerad och övrigt uppfyller materialkraven.

4- Renhet

Produkten bör vara fri från jordmaterial och andra föroreningar som kan minska produktens kvalitet.

Makadamballast TK klass 1 och 2 i *tabell 5.4–5.5*

Tabell 5.4 Kornstorleksfördelning för klass 1

	0.063 (mm)	11.2 (mm)	22.4 (mm)	31.5 (mm)	40 (mm)	64 (mm)	80 (mm)
Klass 1 0.5%	≤ 0.5	≤ 3	0-10	0-20	20-90	≥ 90	100
Klass 1 2%	≤ 2	≤ 3	0-10	0-20	20-90	≥ 90	100

Tabell 5.5 Kornstorleksfördelning för klass 2

	0.063 (mm)	4 (mm)	11.2 (mm)	22.4 (mm)	33.5 (mm)	40 (mm)
Klass 2 0.5%	≤ 0.5	≤ 3	0-20	50-70	≥ 90	100
Klass 2 2%	≤ 2	≤ 3	0-20	50-70	≥ 90	100

5- Kornform

För färdiga produkter bör LT index vara (3) medelvärde 90 %, samt 85 % för klass 1 och klass 2, och ingen prov får understiga 85 %, 80 %. Bestämningen av LT index är enligt FAS metoden.

6- Färgkrav för makadam

Fämen Det finns inget krav på spårområdet där makadam beläggs.¹⁵

¹⁵ <http://www.trafikkontoret.goteborg.se/tpu> (2007-04-01)

5.4 Makadam klass 2 special (8-31,5 mm)

5.4.1 Allmänt

Provlaboriering på makadam fysikaliska egenskaper (makadam klass 2 special) utförs enligt SS-EN istället FAS Metod.

FAS Metod 001 "Allmän information", FAS Metod 015 "Strykning av extremdata" skall tillämpas i laboratoriet.

5.4.2 Materialkrav

Kontrollen skall utföras:

- Vid leverans från ny täkt
- Entreprenören skall anmäla förändringar till beställaren.
- På beställarens begäran med entreprenören under pågående kontraktperiod.

– Råmaterial

Råmaterialet tas ut från berget för makadamtillverkning samt materialet från bergschakten för andra ändamål om kraven i övrigt innehålls.

– Bergarter och material

Enligt SS-EN 932-3 "Petrografisk analys av sand, grus och sten" skall utföras på bergarter för petrografisk analys. Skadliga mineral som glimmer undviks, eftersom att det påverkar vattenhållandets egenskaper, nötningsmotstånd och stabilitet negativt.

Enligt FAS 1992:16 "Kvarts" skall bergmaterialets kvartshalt redovisas, då bergmaterialet med hög kvartshalt inte godkänns av arbetsmiljöskäl.

Enligt SS-EN 1097 -6 "Betongprovning – Ballast- Korndensiteten (hydrostatisk metod) och Vattenabsorption".

Enligt SS-EN 1097-2 "Metoden för bestämning av vattenabsorption". Godkänt material får absorbera högst 1.5 % vatten.

– Hållfasthet

Los Angelesstal

Enligt SS-EN 1097-2 "Metoden för bestämning av motstånd fragmentering" skall Los Angelesprovning utföras.

Analysen skall utföras på fraktion 10-14 mm enligt metoden.

LA talet skall vara ≤ 20 .

Micro-Deval

Enligt SS-EN 1097-1 "Bestämning av nötningmotstånd" provning skall utföras. Analysen skall utföras på fraktion 10-14 mm enligt metoden.
MD \leq 15 .

5.4.3 Produktkrav

Kornstorleksfördelning

Enligt SS-EN 933-1 "Bestämning av kornstorleksfördelning genom siktanalys" skall kornstorleksfördelningen bestämmas.

Nedan angivna siktar skall används:

0,063 mm	klass 2
4 mm	klass 2
8 mm	klass 2
16 mm	klass 2
31.5 mm	klass 2
40 mm	klass 2

Kornform

Kornets tjocklek (=) definieras som vidden hos den minsta spalt genom vilket kornet kan passera

Kantighet

Kantighet är ett krav för färdig produkt hos kornen. Kravet kan anses uppfyllt om produkten är nyproducerad och i övrigt uppfyller materialkraven.

Renhet

Produkten skall tvättas på ett sätt där det blir utan jordmaterial, växtrester och andra föroreningar.

Makadamballast TK klass 2 special (8-31,5 mm) i tabell 5.6

Kornstoleksfördelning

Tabell 5.6 Kornstorleksfördelning för klass 2 speciell

	0.063 (mm)	4 (mm)	8 (mm)	16 (mm)	31.5 (mm)	40 (mm)
Klass 2 speciell 0.5%	≤ 0.5	0-5	0-20	20-50	85-99	100

Kornform

Enligt SS-EN skall färdig produkt ha LT index (3), medelvärdet skall vara högst 20%.

5.4.4 Färgkrav

I en öppen banvall skall befintlig färg på makadam bevaras. Där spårområdet beläggs finns inga krav på makadamfärg.¹⁶

¹⁶ <http://www.trafikkontoret.goteborg.se/tpu> (2007-05-05)

Karlen Håkan, handläggande spårprojektör, FB Flygfältsbyrån, möte den 11 april 2007

5.5 Jämförelse mellan makadamballast TK klass 2 (11-31,5 mm) och TK klass 2 special (8-31,5 mm)

TK klass 2	TK klass 2 speciell
<p>Allmänt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prover avsedda för att verifiera egenskaper för materialen eller produkten bör hanteras enligt SS 13 21 02 "Stenmaterial ballast för byggnads och anläggningsändmål", eller FAS Metod 226. • Laboratoriet skall tillämpas det som finns i FAS metod 001 och FAS 015. 	<p>Allmänt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prover avsedda för att verifiera egenskaper för materialen eller produkten bör hanteras enligt SS-EN 13450 "Makadam ballast för järnväg", vilket har tagit en del av anpassningen till Europanormerna. • Siktat som används för kalibrering och utvärdering bör följa SS-EN 933-2 "Ballast – Generella egenskaper – Del 2: "Metoder för neddelning av laboratorieprov" och ISO 3310-1
<p>Materialkrav</p> <p>Bergarter och material</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kraven på bergarter skall genom petrografisk analys utföras enligt SP-metoden 1441, utgåva 3 " Petrografisk analys av sand, grus och sand" • Bergarters korndensiteter bestämmas enligt SS 13 21 25 "Betongprovning – ballast- Korndensitet och Vattenabsorbktion" eller Fasmetoden • Materialet blir godkänt om det kan högst absorbera 1,0 % vatten. 	<p>Materialkrav</p> <p>Bergarter och material</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kraven på bergarter skall genom petrografisk analys göras enligt SS-EN 932-3 "Ballast – Generella egenskaper – Del 3: Petrografisk beskrivning, förenklad metod" • Bergarters korndensiteter bestämmas enligt SS-EN 1097-6 "Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 6: "Bestämning av korndensitet och vattenabsorption" • Materialet blir godkänt om det högst kan absorbera 1,5 % vatten. <p>Hållfasthet</p>

Hållfasthet

- Vid Los Angeles-tal skall metoden utföras enligt ASTM C 535 ”Standard test metod for degradation of large size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine”
- LA-talet skall vara ≤ 18 .
- Kulkvarnsvärdet bör vara ≤ 14 mätt på fraktion 11,2-16 mm enligt FAS Metod 209.

Produktkrav

allmänt

- Makadamballast TK klass 2 med 0,5 % eller 2 % finjordshalten.
- Kornstorleksfördelning, sikt

Sikt (mm)	TK 2	
0,063	0	0,5
4	0	3
8	0	13
16	22	42
31,5	83	95
40	100	100

- Vid Los Angeles-tal skall metoden utföras enligt SS-EN 1097-2 ”Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 2: Bestämning av motstånd mot fragmentering” på fraktion 10-14 mm.

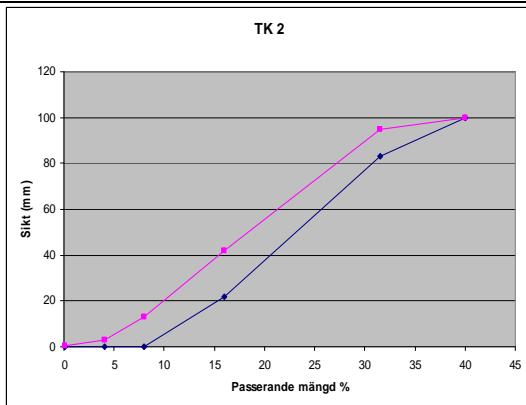
- LA-talet skall vara ≤ 20 .
- Micro-Deval bestämmas enligt SS-EN 1097-1 Ballast – Mekaniska och fysikaliska egenskaper – Del 1: ”Bestämning av motstånd mot nötning” på fraktion 10-14 mm.
- MD ≤ 15 eller resultat förklaras.

Produktkrav

allmänt

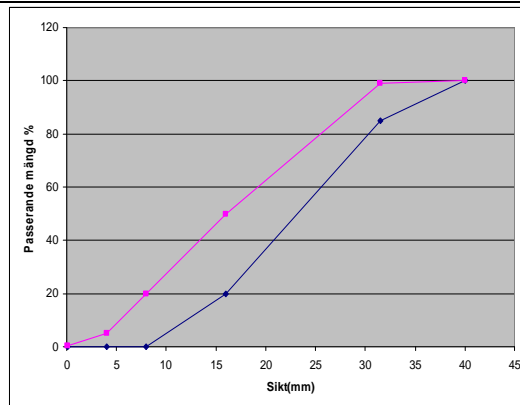
- Makadamballast TK klass 2 speciell med 0,5 % finjordshalten.
- Kornstorleksfördelning, sikt analys

Sikt (mm)	TK special 0,5%	
0,063	0	0,5
4	0	5
8	0	20
16	20	50
31,5	85	99
40	100	100



- Kornform

Produkten skall ha LT index=3 och bestämd enligt FAS metod 244 på fraktion 11,2-31,5 mm och medelvärde 85 %.¹⁷



- Kornform

Produkten skall ha LT index=3 och bestämd enligt SS-EN 933-4 på fraktion 8-31,5 mm med medelvärde högst 20 %.

¹⁷ <http://www.trafikkontoret.goteborg.se/tpu> (2007-04-24)

http://www.vv.se/templates/page3_7824.aspx (2007-04-26)

6. Labförsök

Prover har gjorts i NCC lab som finns i Tagene, Göteborg. NCClokalen består av en lokal för prover och tre andra kontor till personaler som arbetar på laboratoriet.

Lokalen är lagom stor och har allt utrustning, bl.a. Los Angelesapparat, Micro-Deval och sikt analys samt är lokalen ISO-klassad. Inom lokalen finns det data rum som används för att spara all indata som fås från labben och sedan analyseras med hjälp av olika program.

Provmetoden utförs enligt SS- EN 933-1 metoden.

6.1 Siktanalys

6.1.1 Definition

Metoden används för att bestämma kornstorleksfördelning hos stenmaterial genom att sikta makadam med olika serie siktar. Den finaste sikten har 0,063 mm och den gruvaren är 4 mm.

Genom att analysera innehållet i siktanalysen kan man få fram siktanalyskurvan som är baserad på direkt vägning av de olika fraktionerna. Även stenmaterialets volym kan man ta fram med hjälp av siktanalyskurvan under förutsättning att alla fraktionerna har samma korndensitet, se *tabell 6.1*.

Tabell 6.1 Den minsta samt den störst värden som är tillåten på siktanalyen.

Fraktions- gränser (mm)	Minsta tillåten vikt hos analys- prov (g)	Nominell maskvidd	Största tillåten mängd (g) kvarstannat material på siktar med siktdiameter	
			300 mm	200 mm
råfiller	25	22,4	1050	525
0 – 0,5	75	16,0	900	450
0 – 2	200	14,0	850	420
0 – 4	375	11,2	800	400
0 – 6	550	9,5	750	370
0 – 8	750	8,0	700	350
0 – 11	1000	5,6	600	300
0 – 16	1300	4,0	500	250
0 – 22	1700	2,0	400	200
0 – 32	2500	1,0	300	150
2 – 4	150	0,5	200	100
4 – 8	300	0,25	175	85
8 – 11	500	0,125	150	75
11 – 16	800	0,063	100	50
16 – 22	1200			

6.1.2 Laboratorieanalys

Siktanalysen har utförts för båda makadam Klass 2 med fraktion 11,2/31,5 mm och för makadam Klass 2 special med 8/31,5 mm fraktion.

För fraktionen 11-31,5 mm, blandas 30 % av 11,2-16 mm och 70 % av 16-31,5 mm, se *tabell 6.2*. Provet har utförts enligt SS-EN 933-1. För fraktionen 8-31,5 mm, blandas 35 % av 8-16 mm och 65 % av 16-31,5 mm, se *tabell 6.3*. Provet har utförts enligt SS-EN 933-1.

Resultatet var acceptabel (ideal kurva ligger mellan gränsvärdena) för båda fraktionerna 8-31,5 mm och 11,2-31,5 mm och här kan man se *figurer 6.1–6.2–6.3–6.4* av båda proverna nedan.

Makadam TK klass 2 med fraktion 11,2-31,5 mm

Tabell 6.2 Kornstorleksfördening för 11,2-31,5 mm prov A.

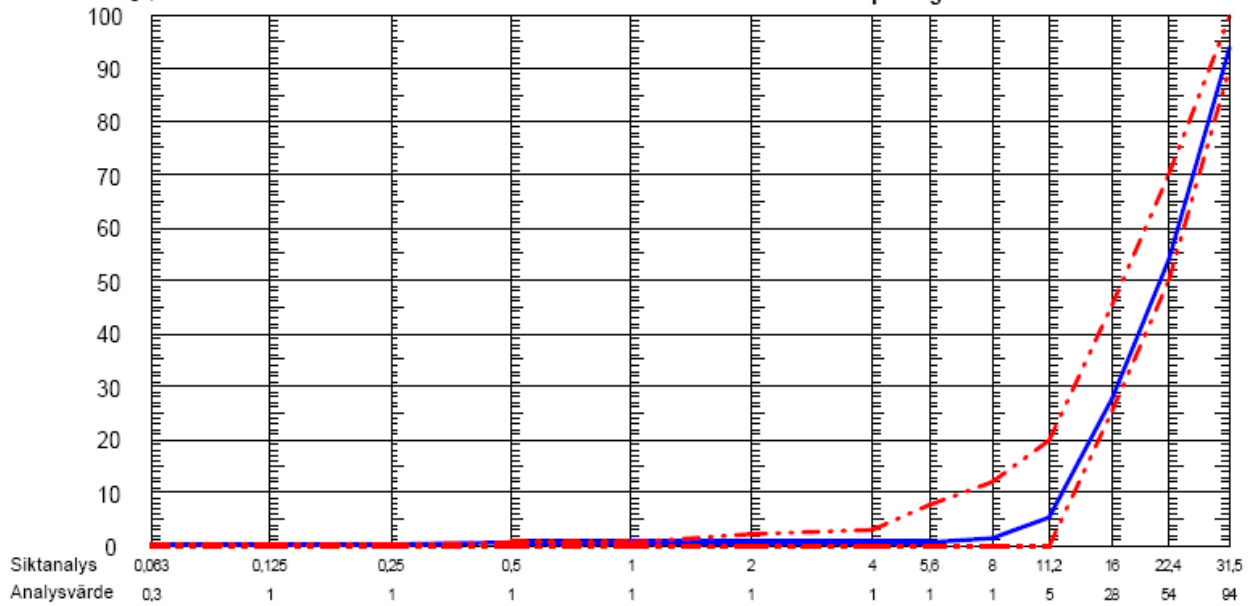
	sikt mm	0,063	4	8	16	31,5	40
% pass	8-16	0,3	1	6	91	100	100
% pass	16-31,5	0,2	1	1	11	94	100

Blandning	%						
16-aug	35	0,1	0,4	2,1	31,9	35,0	35,0
16-31,5	65	0,13	0,65	0,65	7,15	61,1	65
8-31,5 (ideal)	100	0,2	1,0	2,8	39,0	96,1	100,0
Blandning 8-31,5 (B)	100	0,4	2	3	38	94	100

Krav för spårväg klass II	<0,5	<5	0-20	20-50	>85	100
	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k

KORNSTORLEK
Passerad mängd, vikts-%

Makadam 11-32 Spårväg



Figur 6.1 Siktanalyskurvan för makadam 11-31,5 mm för prov A.

Tabell 6.3 Kornstorleksfördening för 11,2-31,5 mm prov B.

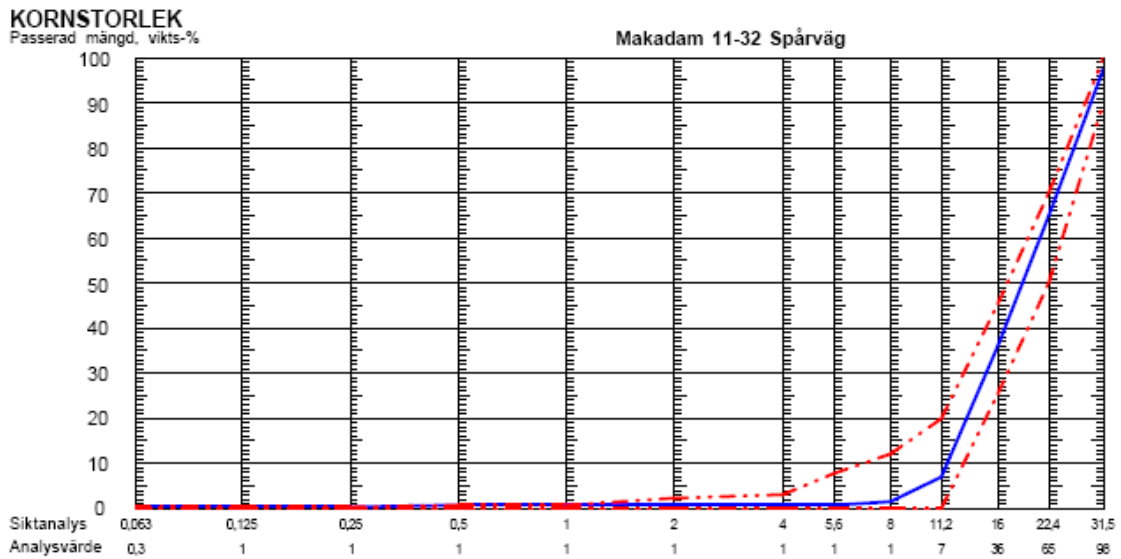
Makadamballast klass II/11-31,5mm (blandning av 11-16 & 16-31,5)

(Prov b)

	sikt mm	0,063	4	8	16	31,5	40
% pass	11_16	0,3	1	6	91	100	100
% pass	16-31,5	0,2	1	1	11	94	100

Blandning	%	0,063	4	8	16	31,5	40
11_16	30	0,1	0,3	1,8	27,3	30,0	30,0
16-31,5	70	0,14	0,7	0,7	7,7	65,8	70
11-31,5 (ideal)	100	0,2	1,0	2,5	35,0	95,8	100,0
Blandning 11-31,5 (B)	100	0,3	1	1	36	98	100

Krav för spårväg klass II	<0,5	<3	0-13	22-42	83-95	100
	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k



Figur 6.2 Siktanalyskurvan för makadam 11-31,5 mm för prov B.

Makadam TK klass 2 Special med fraktion 8-31,5 mm

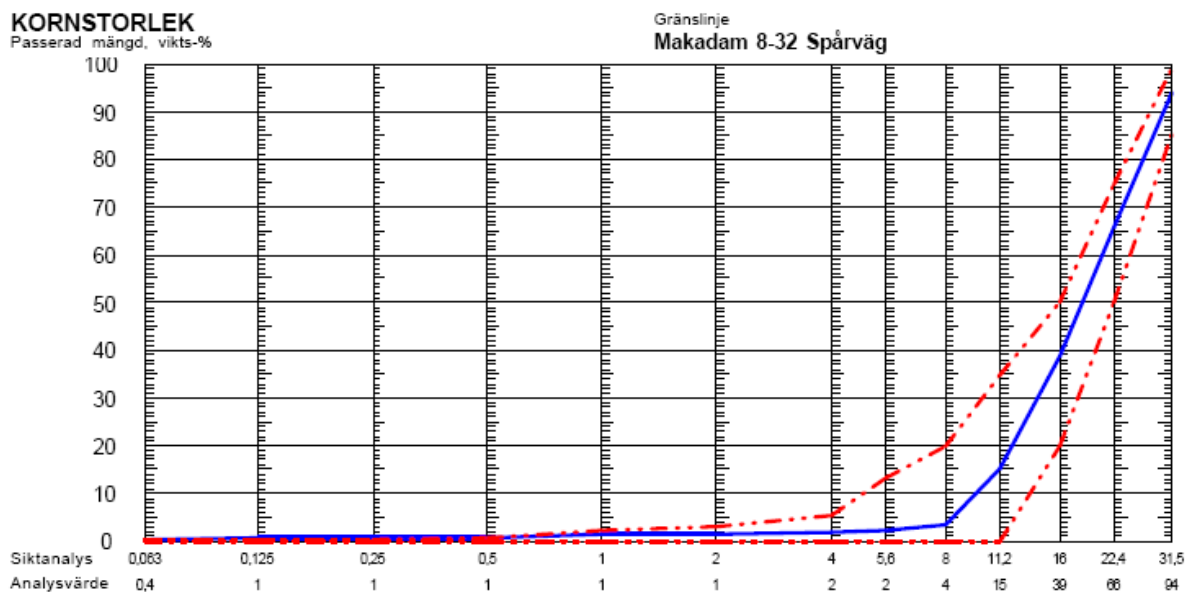
Tabell 6.4 Kornstorleksfördening för 8-31,5 mm prov A.

Makadamballast klass II/8-31,5mm (blandning av 8-16 & 16-31,5)

(Prov A)

	sikt mm	0,063	4	8	16	31,5	40
% pass	8-16	0,3	1	6	91	100	100
% pass	16-31,5	0,2	1	1	11	94	100
Blandning	%						
16-8	35	0,1	0,4	2,1	31,9	35,0	35,0
16-31,5	65	0,13	0,65	0,65	7,15	61,1	65
8-31,5 (ideal)	100	0,2	1,0	2,8	39,0	96,1	100,0
Blandning 8-31,5 (A)		1	2	4	39	94	100

Krav för spårväg klass II	<0,5	<5	0-20	20-50	>85	100
---------------------------	------	----	------	-------	-----	-----



Prov A

Figur 6.3 Siktanalysskurvan för makadam 8-31,5 mm för prov A.

Tabell 6.5 Kornstorleksfördening för 8-31,5 mm prov B.

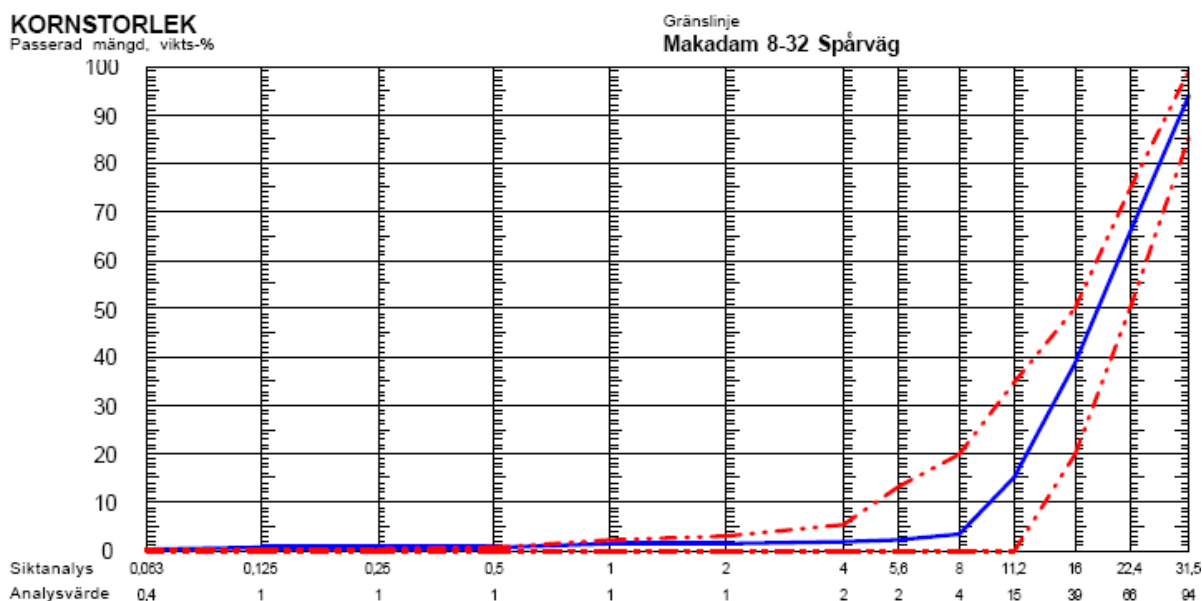
Makadamballast klass II/8-31,5mm (blandning av 8-16 & 16-31,5)

(Prov b)

	sikt mm	0,063	4	8	16	31,5	40
% pass	8-16	0,3	1	6	91	100	100
% pass	16-31,5	0,2	1	1	11	94	100

Blandning	%	0,063	4	8	16	31,5	40
16-aug	35	0,1	0,4	2,1	31,9	35,0	35,0
16-31,5	65	0,13	0,65	0,65	7,15	61,1	65
8-31,5 (ideal)	100	0,2	1,0	2,8	39,0	96,1	100,0
Blandning 8-31,5 (B)	100	0,4	2	3	38	94	100

Krav för spårväg klass II	<0,5	<5	0-20	20-50	>85	100
	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k	O.k



Figur 6.4 Siktanalyskurvna för makadam 8-31,5 mm för prov B.

6.2 Los Angeles

6.2.1 Definition

Denna metod används vid bestämningen av motstånd fragmentering enligt SS-EN 1097-2 och den metoden ersätter den gamla sprödhetstal enligt nya ATB. Se tabell 6.6 nedan. Figur 6.5 är en principbild över materialrörelse under ett varv i en LA-trumma.

Motstånd mot fragmentering

Los Angeles-trumma och sprödhetstal

Tabell 6.6 Skillnaden mellan Los Angeles och sprödhetstal.

Goda förutsättningar	Framför allt bastiska bergarter så som gabbro och diabas. Bland granitoiderna är finkorniga och massformiga bergarter bäst. Kubiskt formade partiklar klarar sig bättre än stängliga och flisiga.
Dåliga förutsättningar	Grovkorniga bergarter (speciellt grova kalifältspatkristaller), folierade och stängliga bergarter med svaga (läs raka) korngränser. Initiella sprickigheten (mikrosprickor) påverkas under provet.
Repeterbarhet	Bättre repeterbarhet för Los Angeles jämfört med sprödhetstalet



Figur 6.5 Principbild över LA.

6.2.2 Laboratorieanalys

I fraktion 8-31,5 mm används 35 % av 10-12,5 mm och 65 % av 12,5-14 mm och provet har utförts enligt SS-EN1097- 2, se *tabell 6.7*.

I fraktion 11,2-31,5 mm används 35 % av 11,2-14 mm och 65 % av 14-16 mm och provet har utförts enligt SS-EN1097- 2, se *tabell 6.7*.

Tabell 6.7 Los Angelse för 11-31,5 mm och 8-31,5 mm

	11-31,5 mm	8-31,5 mm
LA för prov A	26 %	26 %
LA för prov B	25 %	27 %

Resultatet för båda fraktionerna var ganska nära, se *tabell 6.7*, för mer information titta på bilaga (3).

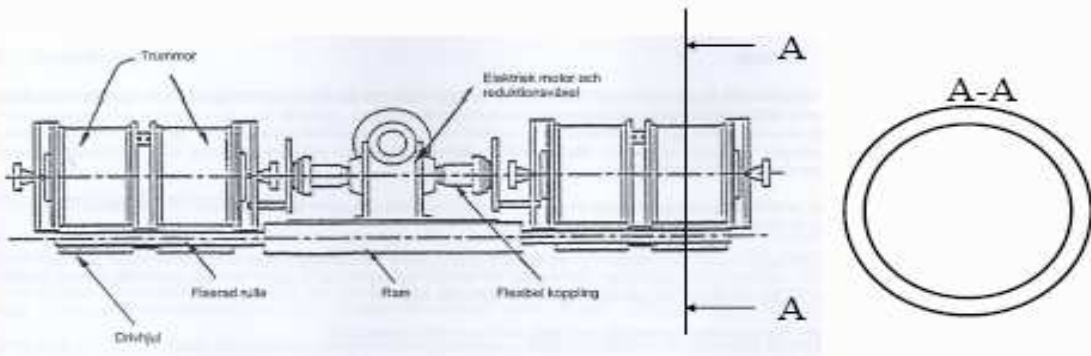
6.3 Micro Deval

6.3.1 Definition

Metoden är en utveckling av Deval-metoden som ursprungligt kommer från Frankrike, metoden användes för mått på kvalitet hos obundna bärlager . Finmaterialet som är mindre än 1,6 mm föras bort för att det kan inte vara dämpande, se *fiur 6.6* nedan.

0,5 kg prov 10 – 14 mm
 5 kg stålkulor 9,5 mm Ø
 12000 varv (2 h), med 2,5 l vatten
 Siktas i 1,6 mm sikt

$$M_{DE} = 100(500 - m) / 500$$



Figur 6.6 Principbild över MD.

6.3.2 Laboratorieanalys

I fraktion 8-31,5 används 35 % av 10-12,5 mm och 65 % av 12,5-14 mm och provet har utförts enligt SS-EN1097- 1, se tabell 6.8.

I fraktion 11,2-31,5 används 35 % av 11,2-14 mm och 65 % av 14-16 mm och provet har utförts enligt SS-EN1097- 1, se tabell 6.8.

Resultatet för MD för fraktion 8-31,5 mm och för fraktion 11-31,5 mm är på tabell 6.8 nedan. För mer detaljerad information titta på bilaga (3).

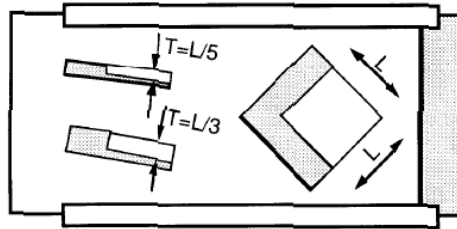
Tabell 6.8 MicroDeval för 11-31,5 mm och 8-31,5 mm

	11-31,5 mm	8-31,5 mm
MD för prov A	5,7 samt 6,0	7,7 samt 7,6
MD för prov B	6,1 samt 6,1	7,9 samt 7,4

6.4 Shape index (Kantighet) LT:

6.4.1 Definition

LT-index anger andelen i form av viktprocent, vars längdtjockleks förhållande (LT) är mindre än ett givet värde. Kornets tjocklek definieras som vidden hos den minsta spalt genom vilken kornet kan passera. Se figur 6.7 nedan.



Figur 6.7 Dragtolk för LT.

Kantighet är ett krav för färdiga produkter hos kornen. Kravet kan anses uppfyllt om produkten är nyproducerad och i övrigt uppfyller materialkraven.

6.4.2 Laboratorieanalys

Proverna har utförts enligt SS-EN 933-4 bilaga (3), resultatet för fraktion 8-31,5 och 11-31,5 mm som i tabell 6.9 nedan.

Tabell 6.9 Kantighet för 11-31,5 mm och 8-31,5 mm

	Fraktion 11-31,5 mm	Fraktion 8-31,5 mm
LT Prov A	23	23
LT Prov B	15	25

6.5 Testresultat

Fraktionen 8-31,5 mm och 11,2-31,5 mm har provats två gånger samtidigt, fast de här proverna har inte hamnat på de standardkraven som Trafikkontoret krävde, vilket betyder att man måste justera vissa av dem enligt de normer som TK har:

- Alla tester provar båda fraktionerna 8-31,5 och 11,2-31,5 mm som ligger mellan gränsvärden, men 8-31,5 mm har mer finare material som ökar gränsvärden. Gränsvärdena har tagits efter olika test som NCC lab har gjort.
- LA för båda fraktionerna 8-31,5 mm och 11,2-31,5 mm har inte uppfyllt TK krav $LA \leq 20$ och detta innebär att man ska utvärdera resultatet.
- Micro – Deval för både fraktionerna 8-31,5 mm och 11-31,5 mm är godkänd enligt Trafikkontorets krav ≤ 15 .
- LT för både fraktionerna 8-31,5 mm och 11,2-31,5 mm har inte uppfyllt TK ≤ 20 , vilket betyder att man ska utvärdera dem.

7. PMS Objekt

7.1 Allmänt

PMS Objekt är en Windows-baserad mjukvara som används för analyser och design av vägöverbyggnader. Programmet visar bärighetsberäkningar, antal axellaster i ett ackumulerat avseende, töjning i terrassytan (enstaka last), töjning i detalj, dvs. dragtöjning i biteumlager och tjälberäkningar.

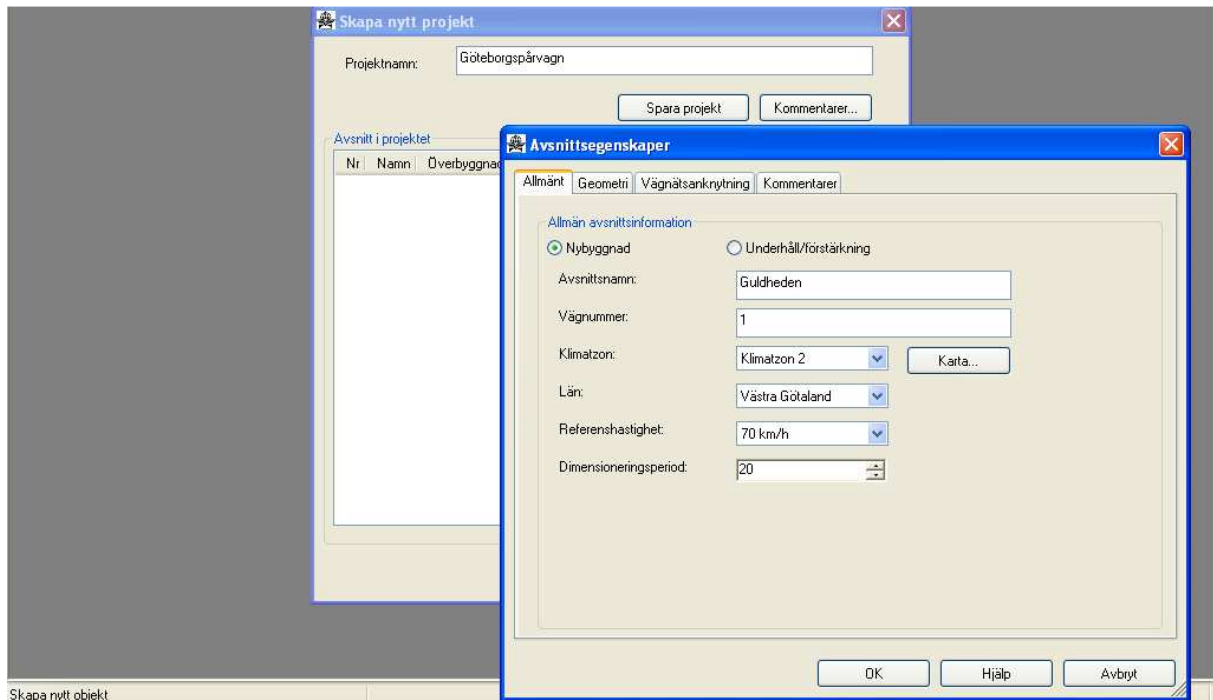
7.2 Mål

PMS Objekt används för att undersöka bärighet och tjälberäkning för överbyggnadsmaterial för spårvagn. Programmet visar kraven som ställs på överbyggnadsmaterial oberoende av egenskaper (bärighet och tjälberäkningar) samt beräknad resultat. Det leder till att man får kunskaper om vägar som kan lida av skador eller sättningar i framtiden, se *figur 7.1*.



Figur 7.1 PMS Objekt

7.3 Data för programmet



Figur 7.2 Nyttprojekt.

1- Man börjar med att registrera projektnamn och sedan ge avsnittsegenskaper till projektet. Göteborg ligger i klimatzon 2, spårvägen är dimensionerad för 15 år, spårvagnens hastighet är 70 km/h och till sist registrerar man geometrin, se figur 7.2.

2- Man räknar ekvivalenta antalet standaraxlar och årsdygntrafik per körfält ÅDTk.

Trafikmängd för spårvagnen:

- En spårvagn kommer varje 5 min på 12 timmar med 20 minuters intervall på andra 12 timmar.
- Dimensioneringsperiod är 20 år.
- Trafik $(12 \cdot 60/5 + 12 \cdot 60/20) \cdot 365 \cdot 20 = 1\,314\,000$ fordon
- ÅDTk $= (12 \cdot 60/5 + 12 \cdot 60/20) \cdot 365 = 65\,700$ fordon
- 8 axlar per fordonset, så antal fordonaxelar inom 20 år $= 8 \cdot 1\,314\,000 = 10\,512\,000$ axlar.
- Ekvivalenta standardaxlar per körfält $= ((8/10)^4) \cdot 10\,512\,000 = 4\,305\,715$

2- Konstruktionens uppbyggnad

I PMS Objekt har man valt olika konstruktionen, den första är för gatuspår och spår på egen bana, se figur 7.3. Överbyggnaden visas nedan:

- I *tabell 7.1* visar överbyggnadsmaterial för Guldheden (gatuspår)

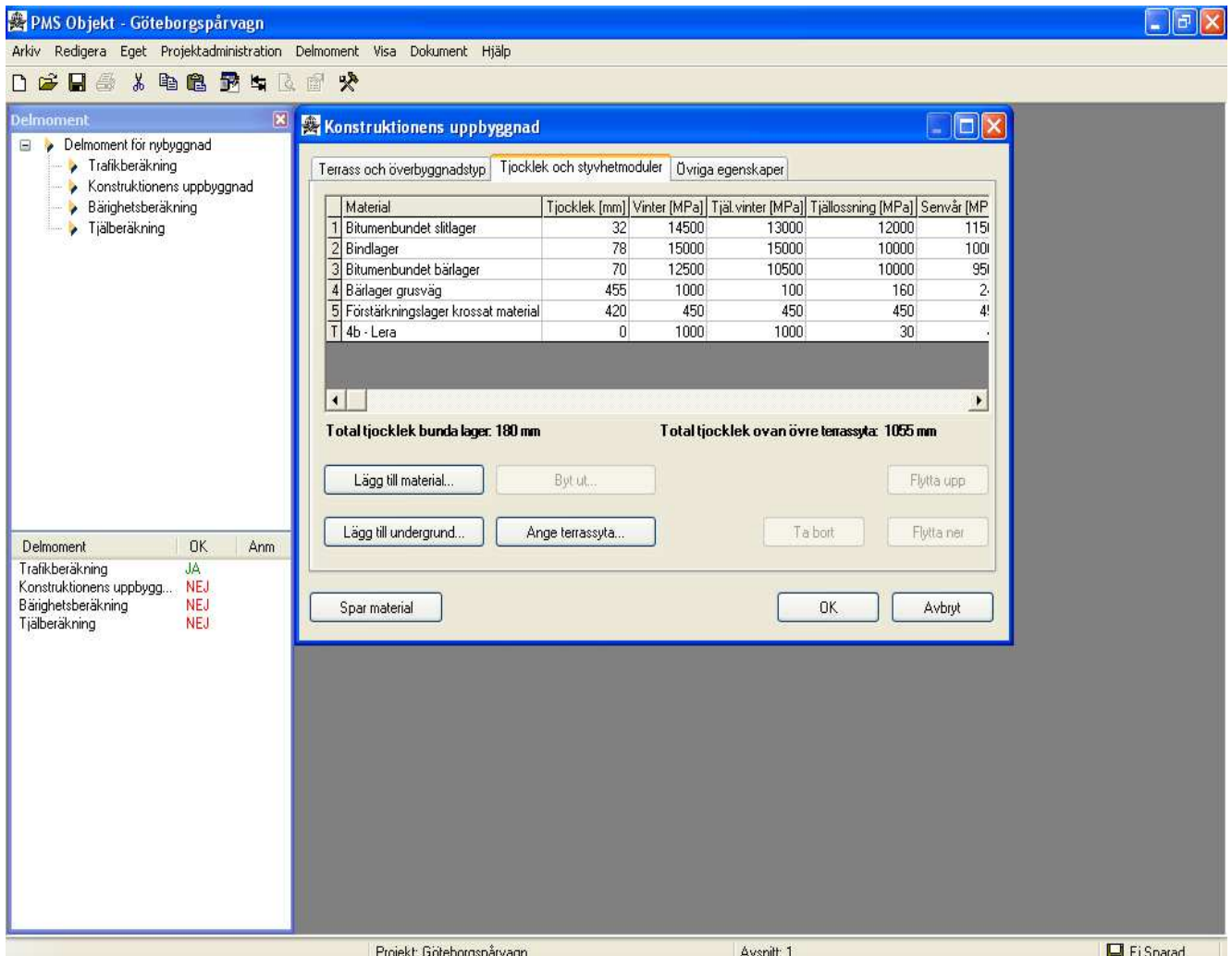
Tabell 7.1 Överbyggnadsmaterial för Guldheden.

Lager	Tjocklek (mm)
Biteumbundet slitlager	32
Binlager	78
Biteumbundet bärlager	70
Bärlager grusväg	455
Förstärkningslager krossat material	420
Lera	0

- I *tabell 7.2* visar överbyggnadsmaterial för spår på egen bana.

Tabell 7.2 Överbyggnadsmaterial för egen bana.

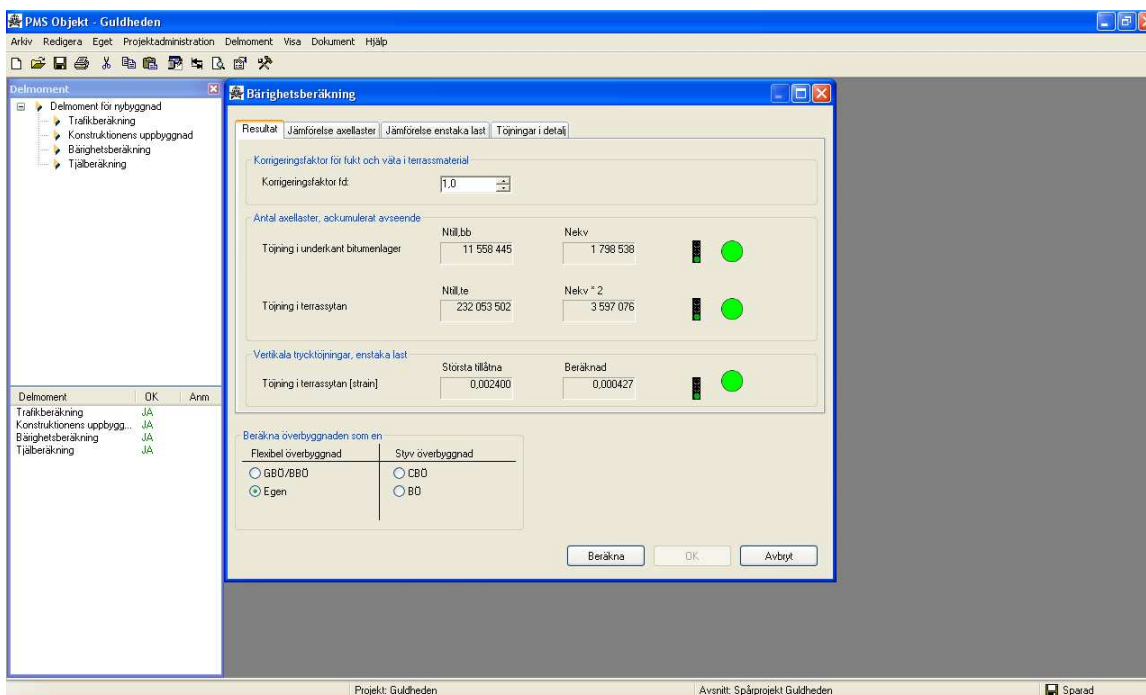
Lager	Tjocklek (mm)
Cementbetong	155
Bärlager grusväg	300
Förstärkningslager av krossat material	420
Lera	0



Figur 7.3 Konstruktionens uppbyggnad med PMS Objekt.

3- Bärighetsberäkning.

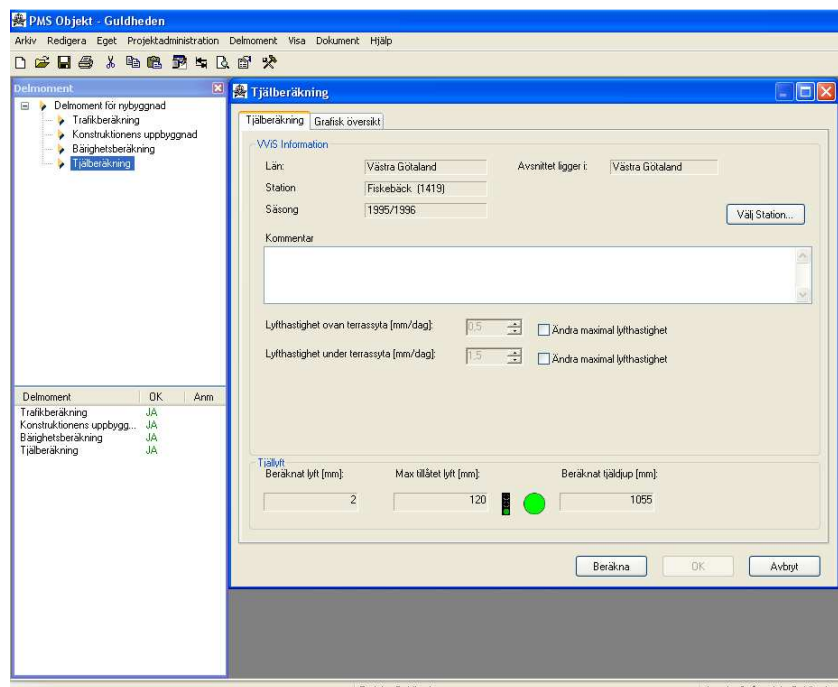
Här visas dragtöjning på asfalter och trycktöjning på terrass, sedan beräknas bärighet som flexibel överbyggnadsmaterial, se figur 7.4 nedan.



Figur 7.4 Bärighetsberäkning med PMS Objekt.

3- Tjälberäkning

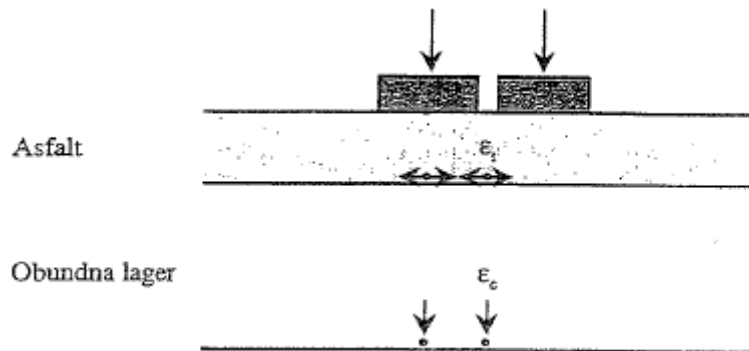
Här visas tjäldjup, max tjällyft och tillåtna lyft. Informationen byggs på att Guldheden ligger i klimatzon 2 och har eget data i PMS Objekt, se figur 7.5 nedan.



Figur 7.5 Tjälberäkning med PMS Objekt.

7.4 Resultat

Det finns två olika nedbrytningskriterier som används vid dimensionering av vägöverbyggnad. Det första är dragtöjningar i asfaltbeläggningens underkant, se figur 7.6. Alltför stora töjningar leder till uppkomsten av utmattningssprickor i bitumenbundna lager. Det andra är vertikala trycktöjningar på terrassytan. Dessa töjningar beskriver de permanenta deformationer.



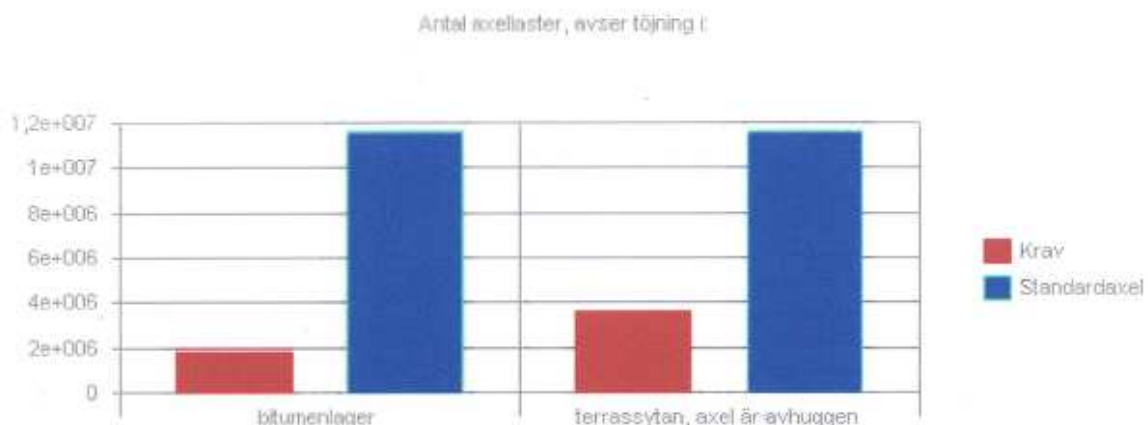
Figur 7.6 Töjningar i överbyggnaden.

Genom programmet PMS Objekt version 4.0.2 visas bärlighetsberäkningar, dragtöjningen i asfalt, vertikaltöjningen i terrassytan och tjälberäkningar.

7.4.1 Töjning i bitumenlager och i terrassyta

Dragtöjningen i bitumenlager varierar mellan 0,000194 på sommartid till 0,000049 på vintertiden, se figur 7.7. För mer detaljer se bilaga (1).

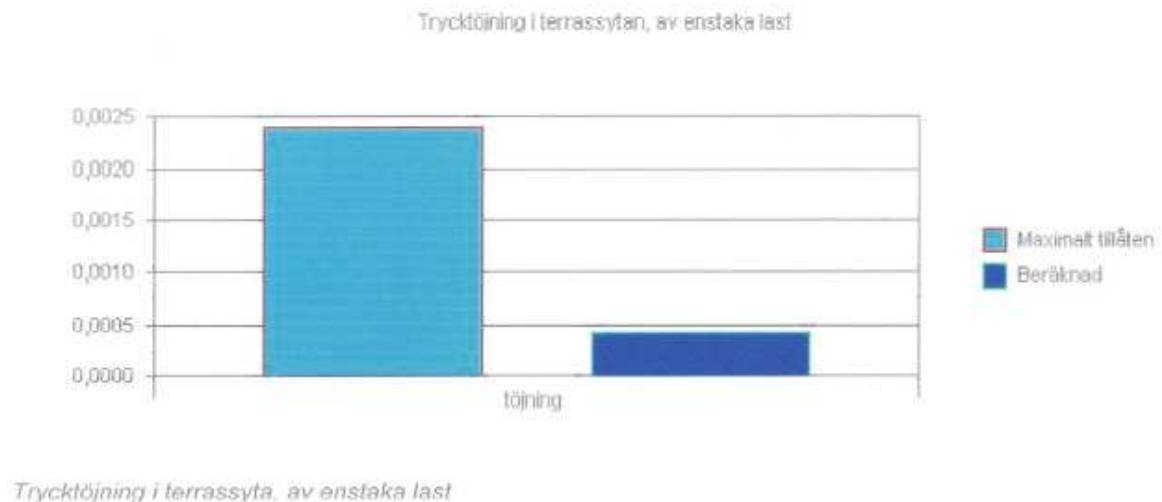
Trycktöjningen i terrassytan har olika värde 0,000016 på vintern och 0,00165 i tjällossning, se figur 7.7. För mer detaljer se bilaga (1).



Figur 7.7 Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassytan.

7.4.2 Trycktöjning

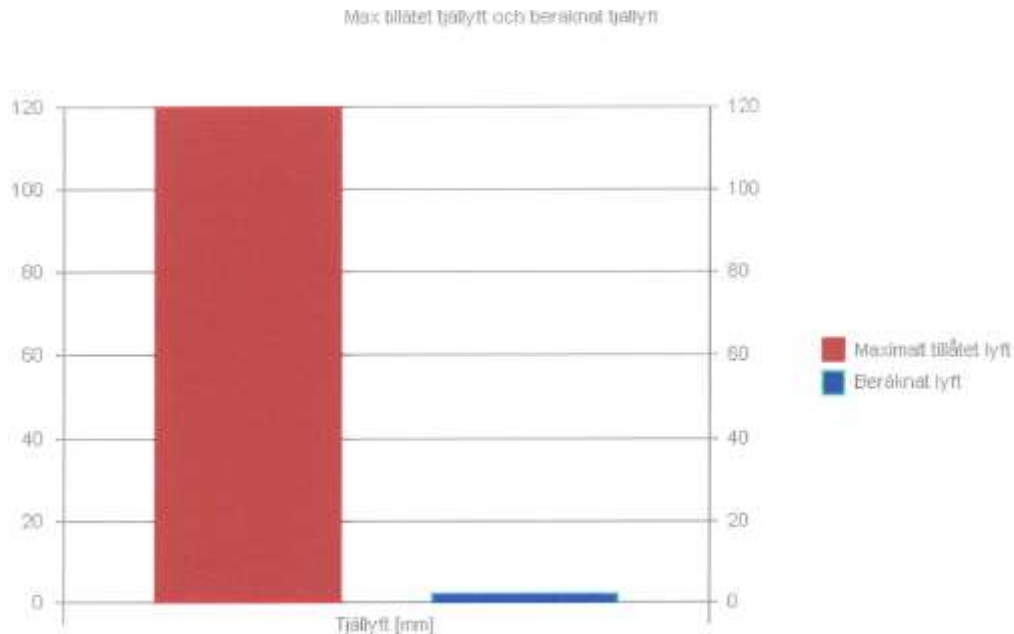
PMS Objekt har räknat vertikala trycktöjningar (strain) och fått fram att beräknad töjningen i terrassytan = 0,0004 medan den största tillåtna töjningen = 0,0024, se *figur 7.8*.



Figur 7.8 Trycktöjningen i terrassytan av enstaka last.

7.4.3 Tjälberäkning

Från överbyggnadsmaterial får man informationen att det maximalt beräknade tjäljupet är 1055 mm, maximalt tillåtet lyft är 120 mm och det som PMS Objekt har räknat är 2 mm., se *figur 7.9*. För mer detaljer se bilaga (1).



Figur 7.9 Maximalt tillåtet lyft och beräknad lyft.

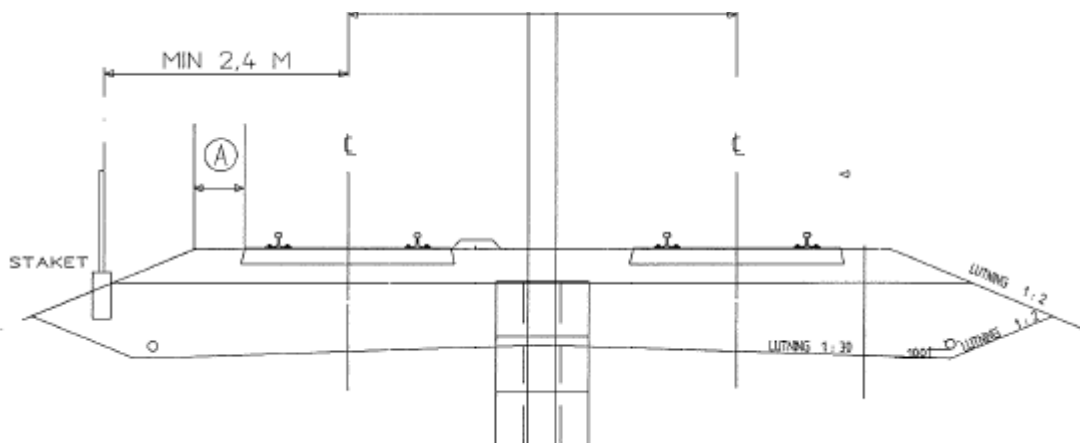
7.5 Kommentarer

Vi har använt PMS Objekt för att undersöka om det finns risk för sprickor, deformation eller tjälfärlyft i hela överbyggnadens material. Man kan sammanfatta all information vi har fått fram i följande:

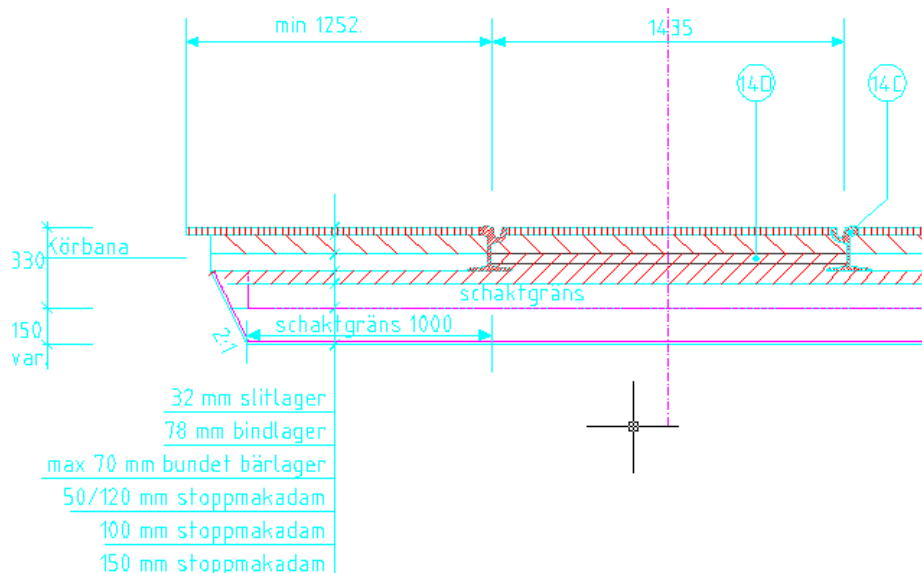
- Det finns inga stora risker att sprickor uppkommer i asfaltlager eftersom tillåten dragtöjnings krav som ställas är större än den som PMS Objekt (Vägverketskrav) har beräknat.
- PMS Objekt har räknat trycktöjningen i terrassytan och den är mindre än den tillåtna, vilket betyder att materialet i den obundna lagern försämras långsamt (inga stora risker för deformationen).
- Max tillåtet tjällyft och tjälldjup är acceptabla enligt PMS Objektets krav (Vägverketskrav), vilket innebär att inga stora risker för tjälfarlighet som leder till snabb deformation i obundna lager uppstår.

8. Plattbelastning

Prov har gjorts med hjälp av Vägverket Konsult som finns i Kungälv. Makadam klass 2 (11,2-31,5 mm) som testats finns på Ekesträgatan, där det finns en sträcka ca 200 m och används av spår 10 och för övningskörning. Denna sträcka byggdes året 1997 och består av stoppmakadam (11,2-31,5 mm) med tjockleken 330 mm samt 700 mm förstärkningslager, se *figur 8.1a-b*. För mer detaljer se bilaga 5. Mellan makadam klass 2 speciell (8-31,5 mm) som testas finns på Guldheden. Den sträcka som testas ca 50 m och det byggdes året 2007. Den sträckan består av 320 mm makadam klass 2 speciell och 0-150 mm förstärkningslager.



Figur 8.1a Normalsektion för Ekesträgatan.



Figur 8.1b Normalsektion för Guldheden.

8.1 Syfte

Syftet med plattbelastning är att undersöka och klargöra deformationen som förekommer vid bärighetsmätning av spårkroppar vid makadam klass 2 (11,2-31,5 mm) och makadam klass 2 speciell (8-31,5 mm). *Figur 8.2–8.5–8.6* visar Eketresgatansområde.



Figur 8.2 Arbetet på Ekesträgatan.

8.2 Metodbeskrivning:

Plattbelastning är en metod som beskriver deformationen i jordlager genom att lasta lagret med en platta och mäta sättningen. Denna metod genomförs genom att belasta först och avlasta efteråt sedan belasta igen.

Resultatet redovisas:

- tryck-deformationsdiagram
- deformationsmodulerna från den första och andra belastningen (E_{v2})
- kvoten mellan deformationsmodulerna (E_{v2}/E_{v1}).

8.3 Olika begrepp:

Deformationsmodul (E_v): används för att visa defromationsbärigheten hos obundet bärlager och det beräknas genom trycksättning vid lastning och omlastning och betecknas som E_{v1} och E_{v2} . Informationen från trycksättningens linje kan man få fram genom E_{v1} och E_{v2} .

Normalspänning: man kan räkna normalspänningen genom att beräkna kraften som är vinkelräta mot en yta och betecknas som σ .

Vägars bärighet: bärigheten definieras enligt VÄG 94 som högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer. För obundna överbyggnadslager avses den bärighet mer exakta deformationsmodulen, E_{v2} , uppmätt med hjälp av plattbelastningen. Kvoten, E_{v2}/E_{v1} kallas för bärighetskvot och är ett indirekt mått på packningsgraden.

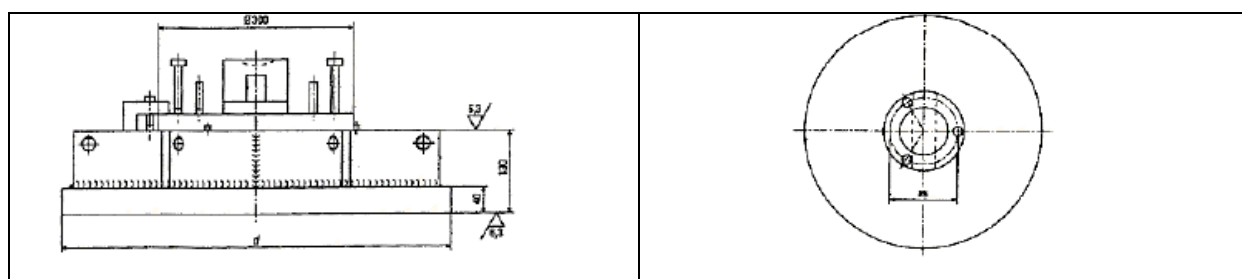
Väggkroppens bärighet försämras hos välbyggda vägar ganska långsamt, huvudsakligen genom omlagringen och krossningen av stenmaterial i obundna lager samt genom infiltration av fint material underifrån. Vatten i väggkroppen påskyndar normalt processen; ett fungerat avvattningsystem är därför väsentligt i detta sammanhang. Dålig bärighet i väggkroppen resulterar i bärighetspår, kanthäng och sättningar. Den enda åtgärden som återställer bärigheten till nybyggnadstillstånd är rekonstruktionen, då man byter eller förbättrar materialet i obundna lager. Bärigheten uppvisar starka variationer mellan olika vägsektioner. Detta beror på varierande geologiska och hydrologiska förhållanden eller skillnader i materialen och utförandekvalitetet. Därför brukar rekonstruktionen utföras punktvis. Krav på nybyggnadstillstånd ökar med tiden pga tillväxten och förändringar i den tunga trafiken.

Sättning består av elastisk och plastisk deformation under plattan.

8.4 Utrustning

I figur 8.3 visar plattbelastningsutrustning

- Belastningsmothåll
- Belastningsutrustningen bestående av lastplatta, tryckutrustning med oljepumpen, hydraulpressen och högtrycksslangen.
- Anordningen för kraftmätning och mätning av sättningen under belastningsplattan lodrätt på den belastade ytan.
- Dator eller fickräknare med program för utjämningsberäkningen.

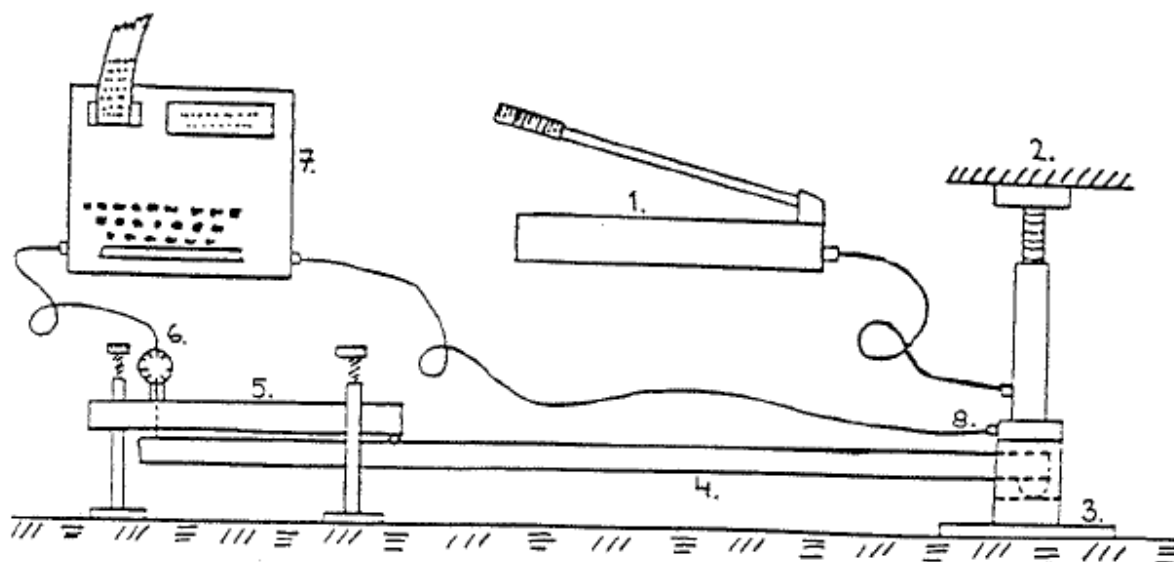


Figur 8.3 Belastningplattan.

8.5 Mätprincip

Med hjälp av plattbelastningen kan man få fram elasticitetsmodulen och packningskvot som i figuren nedan. Först lägger man trycket mot en rund styvplatta (3) med hjälp av handpumpar (1) och ett kraftigt tryckmothåll (2). Plattan och marksättningen överförs till en mått plattans centrum ligger vilande på L-formad kropp. Denna kropp löper genom änden av en horisontal stillastående balk och kan bara röra sig i vertikalled. Balkens (4) tre stödben ligger på ca 2 m avstånd från plattans centrum och är opåverkade av lasterna mot marken. På ändarna av den L-formade kroppen sitter en elektrisk

mätklocka (6) fast. Vertikala rörelser refererar till den horisontella stillastående balken med hjälp av en tapp (5) som löper fritt genom klockan och ligger mot den justerade skruven som sitter på balken. Den elektriska mätklockan är kopplad till en datornhet (7). Se *figur 8.4* nedan. Trycket och sättningen registreras med hjälp av en styrknapp som är kopplad till datorn. Resultaten registreras i form av spänning – sättning, Ev moduler och packningkvoten.



Figur 8.4 Skiss över plattbelastningsens utrustningar.¹⁸

8.6 Förutsättning

Provet kan utföras både på grovkorniga jordar samt på styva och fasta finkorniga jordar. På finkorniga stenar kan provet endast utföras när jorden har en styv konsistens.

8.7 Mätning

Man förbereder en yta som motsvarar en plattans storlek och gör den så jämn som möjligt. På ytan med lutningen mer än 5° måste horisontell provyta göras för att undvika glidningen av belastningsplattan och förskjutningar i tryckanordningen. Ett millimeterskikt av sand kan läggas ut under plattan för att undvika ojämnheter.

¹⁸ Kontroll av vägar med plattbelastningsmetod, Vägverkets Region Väst (2007-06-27)

Deformationsmodulens (E_v) krav

Tabell 8.1 Maximala sättningar och spänningar under plattan.

Diameter (mm)	Sättning (mm)	Normalspänning MN/m ²
300	5	0,5
600	7	0,25
720	13	0,2

Belastningen görs med 7 steg, belastningen 0,087-0,16-0,24-0,32-0,40-0,45 och 0,5 MPa. Vid 0,08 MPa ska provet ligga på 2 minuter, men för de andra kan belastningen ligga på 1 minut, eller tills sättningshastighet är noll. Vid på- och avlastningen ska laständringen göras 1 minut på överbyggnadslager, annars blir det 2 minuter. Vid avlastningen kan det göras i tre steg upp till 50 %, 25 % och 0 % av den maximala lasten, se *tabell 8.1*.



Figur 8.5 Provtagningen.

8.8 Utvärdering av mätresultat

Efter man har gjort klart provet, kan man få fram trycksättnings diagram och sedan beräkna deformationsmodulen (E_v) från diagrammet och (E_{v1} , E_{v2}). Sist beräknar man bärighetskvoten E_{v2}/E_{v1} .

Beräkningen av deformationsmodul E_v

$$s = a_0 + a_1 \cdot \sigma_0 + a_2 \cdot \sigma_0^2$$

- s = sättningen i belastningsplattans centrum i mm
 σ_0 = medelnormalspänningen under plattan i MN/m²
 a_0, a_1, a_2 = konstanter i andragradspolynomet

Ev - modulen beräknas enligt:

$$E_v = 1,5 \cdot r \cdot \frac{1}{a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1 \max}}$$

r = belastningsplattans radie i mm

$\sigma_{1 \max}$ = maximal medelnormalspänning vid den första belastningen i MN/m².¹⁹

8.9 Kontrollmätningen av överbyggnad

Trafikkontoret ställer krav på överbyggnadsmaterial genom mätningen av bärigheten på nivå 50 mm under rälsen eller vid slipers spårunderkant. Detta ska genomföras med plattbelastningen. Metoden har utförts enligt Vägverket (VVMB 606).

För objekt med lagerytan (total area på nivå för mätning) $\leq 1000 \text{ m}^2$ skall antalet provpunkter vara minst 3.

- Samtliga kontrollpunkter skall klara kraven

$$E_{v2} \geq 125 \text{ Mpa}$$

$$E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,02 \cdot E_{v2}$$

- Om någon mätpunkt ej uppfyller kraven utökas mätningen till 5 punkter och kraven ställs på samma sätt som för lagerytan $\geq 1000 \text{ m}^2$

För objekt med lagerytan (total area på nivå för mätning) $\geq 1000 \text{ m}^2$ skall antalet provpunkter vara 5.

- Krav enligt $M(E_{v2}) \geq 125 + 0,83 \cdot s$, $s(E_{v2}) = \sqrt{M((E_{v2})^2) - (M(E_{v2}))^2}$

$M(E_{v2})$ = medelvärde av 5 mätningar, $s(E_{v2})$ = standardavvikelsen i mätserien

- I varje enskild kontrollpunkt:

$$\text{Om } E_{v2} \leq 125: E_{v2}/E_{v1} \leq 3,5$$

$$\text{Om } E_{v2} > 125: E_{v2}/E_{v1} \leq 1 + 0,02 \cdot E_{v2}$$

¹⁹ <http://www.vv.se> (2007-05-25)

Hansson & Kennedy, Chalmers tekniska högskolan, Vägteknik lektion (2007-05-27)

- Antalet godkända provpunkter ska vara 4 eller 5.
- Alla punkter ska klara kravet $E_{v2} > 110 \text{ Mpa}^{20}$.

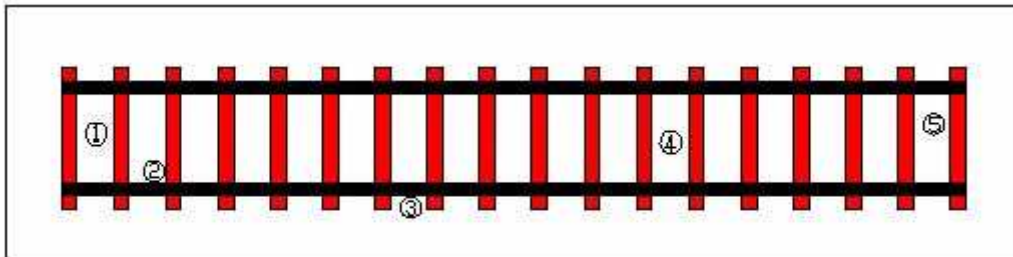


Figur 8.6 Provtagning enligt VVMB 606

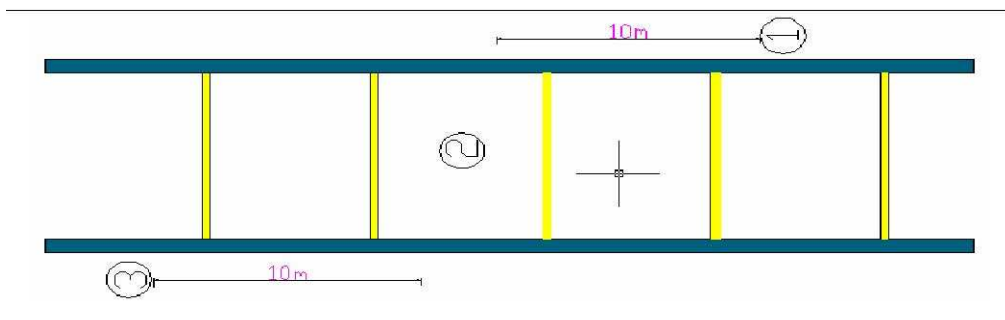
²⁰ Andreas Planthaber, Trafikkontoret, Göteborg

8.10 Testresultat

Det finns många faktorer som påverkar plattbelastningsresultatet, bl.a. klimat, temperaturen, överbyggnadsmaterialets ålder. För Plattbelastning på Eketrägatan med makadam klass 2 (11,2-31,5 mm) valde man 5 olika punkter. Den första, fjärde och femte ligger i mitten av spåret, den andra ligger bredvid spåret medan den tredje ligger utanför spåret, se *figur 8.7a*. För Plattbelastning på Guldheden med makadam klass 2 speciell (8-31,5 mm) valde man 3 olika punkter. Den första och tredje ligger bredvid spåret medan den andra ligger i mitten av spåret, se *figur 8.7b*. Man väljer dessa positioner för att undersöka om det finns bärighet samt packningsskillnader mellan olika punkter i spårområdet på hela sträckan.



Figur 8.7a Plattbelastnings punkter i Eketrägatan.



Figur 8.7b Plattbelastnings punkter i Guldheden.

Prov resultaten för bärighet och packningsgrad på makadam klass 2 visar i *tabell 8.2a*.

Tabell 8.2a Mätresultatet av Makadam klass 2 (11,2-31,5 mm) på Eketrägatan.

NR	Sektion	EV1 (MN/m ²)	EV2 (MN/m ²)	EV2/EV1
1	Punkt 1 mitt spår	47,51	173,79	3,66
2	Punkt 2 H.sidan spår	45,30	141,48	3,12
3	Punkt 3 Ute spår	32,39	146,33	4,52
4	Punkt 4 Mitt spår 1	29,06	151,51	5,21
5	Punkt 5 Mitt spår	46,89	161,20	3,44

Prov resultaten för bärighet och packningsgrad på makadam klass 2 special visar i *tabell 8.2b*.

Tabell 8.2b Mätresultatet av Makadam klass 2 speciell (8-31,5 mm) på Guldheden.

NR	Sektion	EV1 (MN/m ²)	EV2 (MN/m ²)	EV2/EV1
1	Punkt 1 V. S spår 0/200	42,27	146,22	3,46
2	Punkt 2 Mitt spår 0/210	39,52	143,1	3,62
3	Punkt 3 H. S spår 0/215	38,31	109,72	2,86

Eketrägatans sträcka som testats är ca 200 m, så det stämmer med det första kravet på lagerytan $\leq 1000 \text{ m}^2$ samt sträcka på Guldheden. För mer information om plattbelastningen punkter över 1, 2, 3,4 och 5 se bilaga (4).

Tabell 8.3a Mätresultat och kraven som ställs på Eketrägatan.

NR	Ev ₂ Mpa	Ev ₂ /Ev ₁ Mpa	1+0,02* Ev ₂	Krav Ev ₂ /Ev ₁ \leq 1+0,02* Ev ₂
1	173,79	3,66	4,47	Uppfylls
2	141,48	3,12	3,82	Uppfylls
3	146,33	4,52	3,92	Uppfylls ej
4	151,51	5,21	4,03	Uppfylls ej
5	161,20	3,44	4,22	Uppfylls

- Eftersom kraven uppfylls ej i två punkter enligt *tabell 8.3a*, ska resultatet bedömas för en lageryta $\geq 1000 \text{ m}^2$. Kraven som ställs är $M (E_{v2}) \geq 125 + 0,83 * s$, $s (E_{v2}) = \sqrt{M ((E_{v2})^2 - (M (E_{v2}))^2)}$ $M (E_{v2}) =$ medelvärde av de 5 mätningar, $s (E_{v2}) =$ standardavvikelsen i mätserien $M (E_{v2}) = (173,79 + 141,48 + 146,33 + 151,51 + 161,20) / 5 = 154,86 \text{ Mpa}$
 $s (E_{v2}) = \sqrt{(24114,55 - 23982,2)} = 11,50$ $M (E_{v2}) \geq 125 + 0,83 * s$ ----- $154,86 \geq 134,50$ kraven uppfylls enligt VVMB606.



Figur 8.8 Provtagning enligt VVMB 606

Figur 8.8 visar provtagning (plattbelastning) i Guldhedenområde på makadam klass 2 special 8-31,5 mm. I *tabell 8.3b* visar mätresultat och krav (bärighet och packningsgrad) som ställs på Guldheden.

Tabell 8.3b Mätresultat och kraven som ställs på Gulheden.

NR	E_{v2} Mpa	E_{v2}/E_{v1}	$1+0,02* E_{v2}$	Krav $E_{v2}/E_{v1} \leq 1+0,02* E_{v2}$
1	146,22	3,46	3,92	Uppfylls
2	143,10	3,62	3,86	Uppfylls
3	109,72	2,86	3,19	Uppfylls

9. Packningsgrad

Packningen är en metod som används för att ge lagren bättre hållfasthet, göra dem hårdare mot lasten. Packningskontrollen sker med en särskild provningsvält eller med annat packningsredskap kompletterat med mät-och dokumentationsutrustningen. Packningsgrad kan betecknas som bärighetskvoten (Ev2/Ev1).

Packningen består av två principer:

– statisk packning:

Med statisk packning utnyttjar man maskinens egenvikt och packningen ska göras i tunna lager med begränsade djupverkan. Packningsresultatet påverkas av maskinens hastighet och av antalet överfarer.

– vibrerande packning:

Med vibrerande packning stöter man på ytan. Då generas tryckvågor mot djupet och partiklarna sätts i rörelse, vilket underlättar omlagringen till tätare struktur och det innebär att det blir mer kontaktpunkter och det gör materialet stabilare. I vibrerande packning har amplituden och frekvensen stor betydelse för lagrens hållfasthet. Det ger alltså bättre djupverkan och högre densitet.

Faktorer som påverkar plattbelastningen:

- Vattenkvot
- Typ av jord
- Tid för packningen
- Underliggande lagers styvhet
- Kraven på färdig yta

9.1 Krav på packning av obundet bärlager enligt ATB

- Packningsmetod för obundet bärlager

Bärlager bör packas med vibrerande envälväلت enligt E5.4.3.2 i ATB eller med likvärdig packningsinsats. Vältens hastighet är mellan 2,5–4,0 km/h enligt *tabell 9.1* nedan.

Tabell 9.1 Största tillåtna lagertjockleken (m) efter packningen.

Vält linjelast	Vattenkvot > 3,5 %		Vattenkvot < 3,5 % eller ej beständ	
	6 överf.	8 överf.	6 överf.	10 överf.
> 15 kN/m	0,25	0,30	—	—
> 25 kN/m	0,40	0,45	—	0,20
> 35 kN/m	0,50	0,55	0,25	0,30
> 45 kN/m	0,55	0,60	0,30	0,35
> 55 kN/m	0,60	0,65	0,35	0,40

Packningsegenskaper:

- Packningens fridränerande sker under vatten eller regn.
- Packningens icke fridränerande gör att porvatten uppstår och det blir svårt att packa ihop materialet.
- Packningen i samband med bevattningen.
- Optimal vattenkvot.
- Ensgraderat material gör att ytan blir svårt att packa.

9.2 Resultat från packningen i Eketrägatan

För obundna överbyggnadslager är den uppmätta kvoten E_{v2}/E_{v1} med plattbelastningen ett indirekt mått på packningsgraden. E_{v2} modulen blir alltid högre eftersom provens punkter är packade av den första belastningsserien. Packningskvoten redovisas av plattbelastningsutrustningsdator som E_{v2}/E_{v1} , som är ett mått på det utförda packningsarbetet. En stor kvot innefattar dålig packning och en kvot nära kravet ger en bra packning.

Tabell 9.2 Packning på fälten.

NR	E_{v1} Mpa	E_{v2} Mpa	E_{v2}/E_{v1} Mpa
1	47,51	173,79	3,66
2	45,3	141,48	3,12
3	32,39	146,33	4,52
4	29,06	151,51	5,21
5	64,89	161,20	3,44

Punkterna 3,4 har låg E_{v1} och det betyder att de inte är ordentligt packade. Bärighetkvoten för punkterna 3,4 var sämst eftersom de har låg E_{v1} och den sämsta packningen.

I mitten av spåret verkar det så att det har genomförst en bra packning eftersom 2/3 punkter klarar kraven som ställs, medan rälerna bredvid rälen är dåligt packade. Punkterna 1,2 och 3 på Guldheden har högt E_{v1} mellan 32-48 Mpa och det betyder att de är ordentligt packade. Se *tabell 9.2*.

10. Slutsatser och rekommendationer

Generellt visar resultatet att båda fraktionerna makadam klass 2 (11-31,5 mm) och makadam klass 2 special (8-31,5 mm) har nästan samma fysikaliska egenskaper samt bärighet. Proverna som utfördes i labbet var siktanalys, LA, LT och MD har inte visat stor avvikelse mellan båda fraktionerna. Plattbelastning som utfördes på fältet har visat att båda fraktionerna klarade både bärighets och packningsgrad enligt vägverketskrav.

Orsaken kan vara att båda fraktionerna är nära varandra så att proverna som utfördes i det här examensarbetet inte kan visa vilket är bäst när det gäller bärförmåga eller deformation. Det är viktigt att man tar hänsyn till tjälprocess för att detta påverkar mer på makadam klass 2 special än makadam klass 2 eftersom makadam klass 2 special (8-31,5 mm) har finre fraktioner förstås alltså nederbörd kan stoppa av finmakadam i obundna bärlager. Och genom att ge bärlagret lite lutning (bombering) kan man säkerställa och undvika tjälen (dränera vattnet ur bärlager).

Resultat som vi fick fram är: -

- PMS Objekt har räknat trycktöjningen i asfaltlager, dragtöjningen i terrassytan och max tillåtet tjällyft och tjäldjup, vilket är mindre än det som krävs (enligt vägverket), vilket betyder att materialet i den obundna lagern försämras långsamt (inga stora risker för deformationen) bilaga (2).
- Varken makadam klass 2 (11-31,5 mm) och klass 2 special(8-31,5 mm) uppfyller TK krav $LA \leq 20$.
- Micro – Deval för både makadam är godkänd enligt Trafikkontorets krav ≤ 15 mer information bilaga (1).
- Ingen av fraktionerna uppfyller TK krav $LT \leq 20$ mer information bilaga (1).
- Plattbelastning som har utförts på Ekeströgatan på makadam klass 2 (11-31,5 mm) och Guldheden på makadam klass 2 speciell(8-31,5 mm) har visat att packningen var bra och acceptabel.

Vi rekommenderar att:

1. Trafikkontoret ändrar kravet i TK klass 2 speciell på LA kravet som finns i TPU från $LA \leq 20$ till $20 \leq LA \leq 28$.
2. Trafikkontoret ändrar kravet i TK klass 2 speciell på LT också genom att medelvärdet skall vara högst 25 %, istället för 20 %.

11. Referenser

- [1] Trafikkontorets hemsida (2007), www.trafikkontoret.goteborg.se
- [2] Vägverkets hemsida (2007), www.vv.se
- [3] Personlig kommunikation med Khaled Kader, NCC lab Göteborg.
- [4] Jan Hansson & Helene Kennedy, *Geo-Geoteknik*, föreläsningar, Vägteknik, Chalmers tekniska högskolan, 2007.
- [5] Hedström, Ragnar. 2004. *Spårvägens infrastruktur*. Norrköping: Väg- och transport forskningsinstitutet.
- [6] Corshammar, Pelle. 2006. *Perfect Track*. Lund: Libra AB
- [7] Personlig kommunikation med Jan Olsson och Katarina Lagerkvist, Arbetsledare, Göteborgs Spårvägar.
- [8] Spårprojektering, Banverket (2007).
- [9] Järnvägsskolan, www.jarnvagsskolan.se.
- [10] Personlig kommunikation med Håkan Karlen, Flygfältsbyrån Göteborg.
- [11] Kontroll av vägar med plattbelastning, Vägverket Region Väst.

Bilagsförteckning

Tjällyft beräkning med PMS Objekt	Bilaga 1
Tjällyft beräkning PMS Objekt med betongsliper.....	Bilaga 2
NCC lab (Siktanalys, LosAngeles, Microdeval och Kantighet).....	Bilaga 3
Bärighet och packningsgrad beräkning med statisk Plattbelastning.....	Bilaga 4
Ekesträgatan Normalsektion.....	Bilaga 5
Guldheden Plan och Normalsektion.....	Bilaga 6

Bilaga 1

Skapad med PMS Objekt version 4.0
Utskriftsdatum: 2007-08-09 11:51

Projektinformation - Guldheden

Skapat: 2007-08-09 11:38

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - Guldheden

Avsnitt nr:	1
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD
Skapat datum:	2007-08-09 11:38
Vägnummer:	1
Klimatzon:	Klimatzon 2
Referenshastighet(km/h):	70
Antal körfält:	1
Län:	Västra Götaland
Dimensioneringsperiod(år):	20
Avsnittslängd(m):	100
Vägbredd(m):	7,5
Vägrensbredd(m):	0
Vägtyp:	Normal sektion
Körfältsbredd riktning 1:	3
Körfält:	"Riktning 1"
StartpunktX:	
StartpunktY:	
StartpunktZ:	
SlutpunktX:	
SlutpunktY:	
SlutpunktZ:	
Släntriktning riktning 1:	
Släntriktning riktning 2:	
Stödremsa:	0
Skapat av:	
Organisation:	

Kommentarer till avsnittet

--Sidbrytning--

Anmärkningar

Inga anmärkningar finns för avsnittet.

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: Angivet ekvivalent antal standardaxlar
Ekvivalent antal standardaxlar: 4 305 715

--Sidbrytning--

Konstruktionens uppbyggnad

Överbyggnadstyp: Guldheden asfalt
Egen överbyggnadstyp: JA
Materialtyp, övre terrass: 4b - Lera
Tjälfarlighetsklass övre terrass: 3 - Måttligt tjällyftande

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn	
1	32		NEJ	Bitumenbundet slitlager
2	78		NEJ	Bindlager
3	70		NEJ	Bitumenbundet bärlager
4	455		NEJ	Bärlager grusväg
5	420		NEJ	Förstärkningslager krossat material
6	0		NEJ	4b - Lera
				ÖVRE TERRASS

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 1055

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter Sommar	Höst	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår
1	14500	11500	13000 4000	11000	12000
2	15000	10000	15000 4000	10000	10000
3	14500	11500	13000 4000	11000	12000
4	1000	240	100 240	240	160
5	450	450	450	450	450
6	1000	40	1000 50	50	30

Övriga egenskaper

Lager	Lyft λ_{ofr}	ω	ρ λ_{fr}	η	σ
1	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13

2	2		2		
2	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13
	2		2		
3	NEJ	0,01	2200	0,17	0,13
	2		2		
4	NEJ	0,13	1800	0,32	0,73
	1,56		2,04		
5	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24
	1,33		1,02		
6	JA	0,24	1600	0,4	0,96
	1,52		2,51		

--Sidbrytning--

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: GBÖ

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1,0

Antal axellaster, ackumulerad avseende:

Krav i underkant bitumenlager

Ntill, bb: 17 424 006
Nekv: 4 305 715
Kvot: 0,25

Terrassytekrav

Ntill, te: 240 869 087
Nekv * 2: 8 611 430
Kvot: 0,04

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

Beräknad: 0,0004
Största tillåtna: 0,0024
Kvot: 0,18

Töjningar i detalj(strain)

Dragtöjning i bitumenlager, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter Höst		Tjällossning	Senvår	Sommar
0,000046	0,000088	0,000095	0,000088	0,000171	0,000090

Trycktöjning i terrassytan, ackumulerad

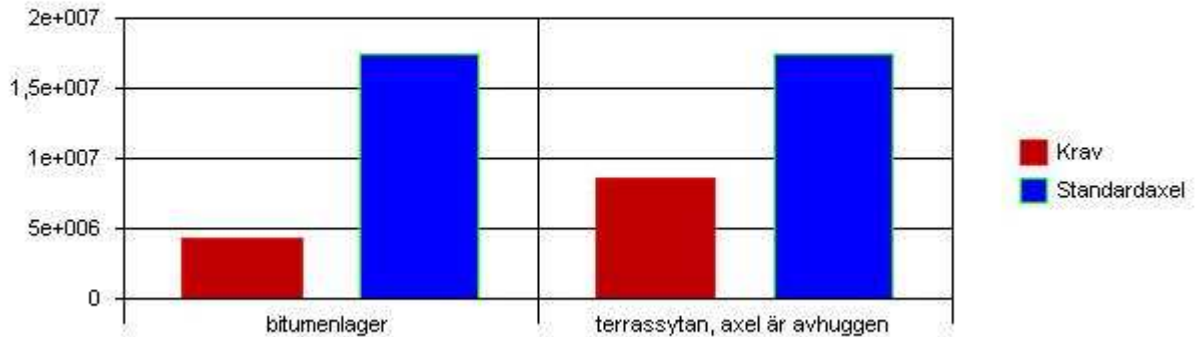
Vinter	Tjällossningsvinter Höst		Tjällossning	Senvår	Sommar
0,000016	0,000016	0,000163	0,000138	0,000149	0,000128

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

Vinter	Tjällossningsvinter		Tjällossning	Senvår	Sommar
--------	---------------------	--	--------------	--------	--------

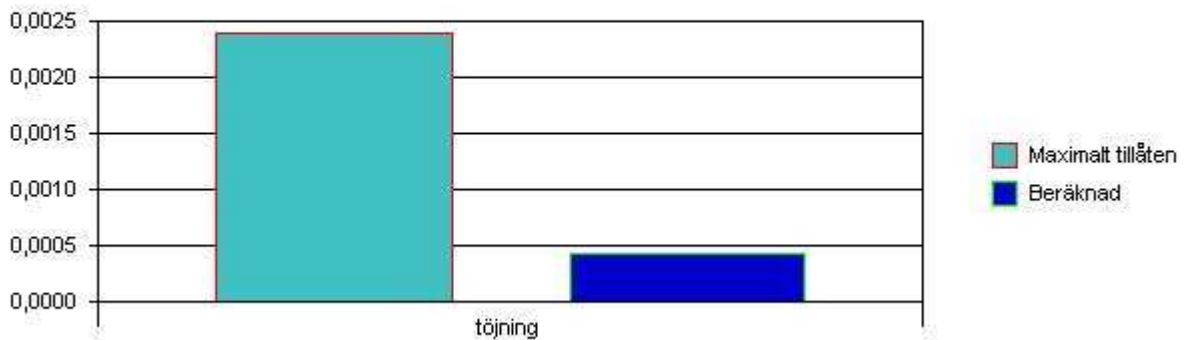
Höst
 0,000041 0,000041 0,000421 0,000357 0,000384 0,000330

Antal axellaster, avser töjning i:



Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassyta

Trycktöjning i terrassytan, av enstaka last



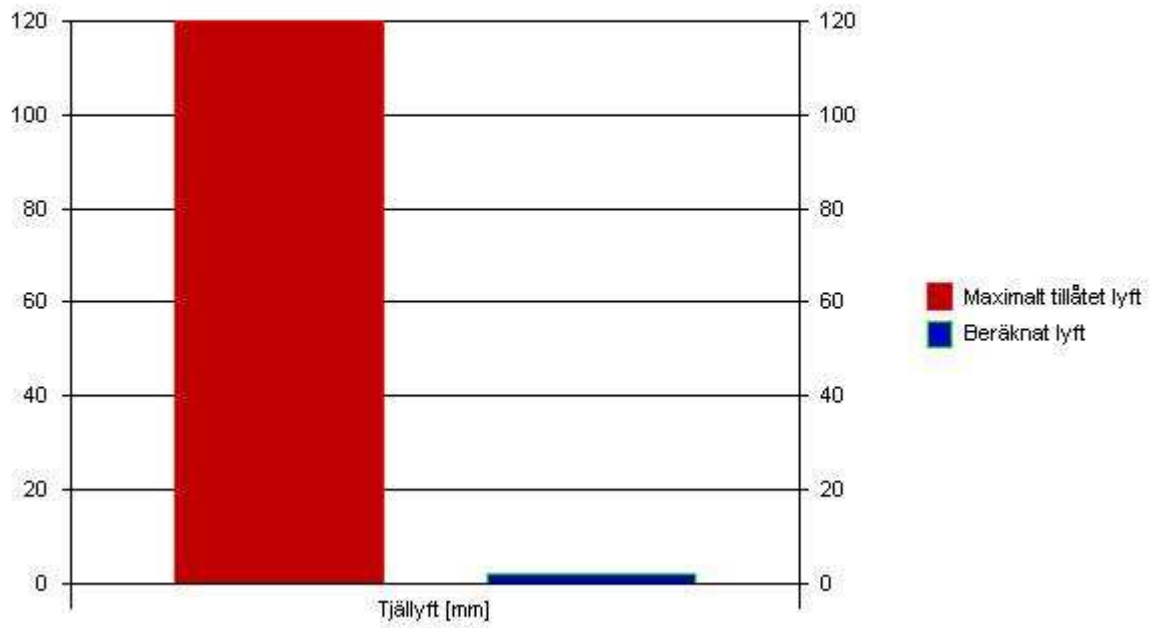
Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last
 --Sidbrytning--

Tjälberäkning

VViS Id:		1414	
Beräknat lyft(mm):		2	
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	1055		
Max tillåtet lyft(mm):		120	
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	0,5		
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1,5		
Grundvattentemperatur(C):	7,0		
Kvot:			0,02
VViS stationsnamn:		Delsjön	
X koordinat:		6400492	
Y koordinat:		1277147	
Z koordinat:		0	
Använd säsong:		95/96	

Kommentar:

Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Bilaga 2

Skapad med PMS Objekt version 4.0

Utskriftsdatum: 2007-08-09 12:03

Projektinformation - Guldheden betong

Skapat: 2007-08-09 11:55

Kommentarer till projektet

Avsnittsinformation - Betong

Avsnitt nr:	1
Avsnittstyp:	NYBYGGNAD
Skapat datum:	2007-08-09 11:55
Vägnummer:	1
Klimatzon:	Klimatzon 2
Referenshastighet(km/h):	70
Antal körfält:	1
Län:	Västra Götaland
Dimensioneringsperiod(år):	20
Avsnittslängd(m):	100
Vägbredd(m):	7,5
Vägrensbredd(m):	0
Vägtyp:	Normal sektion
Körfältsbredd riktning 1:	3
Körfält:	"Riktning 1"
StartpunktX:	
StartpunktY:	
StartpunktZ:	
SlutpunktX:	
SlutpunktY:	
SlutpunktZ:	
Släntriktning riktning 1:	
Släntriktning riktning 2:	
Stödremsa:	0
Skapat av:	
Organisation:	

Kommentarer till avsnittet

--Sidbrytning--

Anmärkningar

Inga anmärkningar finns för avsnittet.

Trafikberäkning avsnitt

Beräkningsmetod: Angivet ekvivalent antal standardaxlar
Ekvivalent antal standardaxlar: 4 305 715

--Sidbrytning--

Konstruktionens uppbyggnad

Överbyggnadstyp: betong
Egen överbyggnadstyp: JA
Materialtyp, övre terrass: 4b - Lera
Tjälfarlighetsklass övre terrass: 3 - Måttligt tjällyftande

Lager

Lageröversikt

Lager	Tjocklek(mm)	Förändrat	Namn	
1	155		NEJ	Cementbetong T3,5
2	300		NEJ	Bärlager grusväg
3	420		NEJ	Förstärkningslager krossat
material				
4	0		NEJ	4b - Lera
	ÖVRE TERRASS			

Total tjocklek ovanför övre terrassyta: 875

Styvhetsmoduler [MPa]

Lager	Vinter Sommar	Höst	Tjällossningsvinter	Tjällossning	Senvår
1	35000		35000		35000
		35000	35000	35000	
2	1000		100		160
		240	240	240	
3	450		450		450
		450	450	450	
4	1000		1000		30
		40	50	50	

Övriga egenskaper

Lager	Lyft λ_{ofr}	ω	ρ λ_{fr}	η	σ
1	NEJ 1,2	0,01	2400 1,2	0,09	0,27
2	NEJ 1,56	0,13	1800 2,04	0,32	0,73
3	NEJ	0,03	2000	0,25	0,24

4	1,33 JA 1,52	0,24	1,02 1600 2,51	0,4	0,96
---	--------------------	------	----------------------	-----	------

--Sidbrytning--

Bärighetsberäkning

Beräkningsmetod: Egen

Korrigeringsfaktor för dränering(FD): 1,0

Antal axellaster, ackumulerad avseende:

Krav i underkant bitumenlager

Ntill, bb: 182 973 901
Nekv: 4 305 715
Kvot: 0,02

Terrassytekrav

Ntill, te: 257 319 594
Nekv * 2: 8 611 430
Kvot: 0,03

Vertikala trycktöjningar(strain)

Töjning i terrassytan, enstaka last(strain)

Beräknad: 0,0004
Största tillåtna: 0,0024
Kvot: 0,18

Töjningar i detalj(strain)

Dragtöjning i bitumenlager, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter Höst		Tjällossning	Senvår	Sommar
0,000033	0,000050	0,000053	0,000049	0,000049	0,000049

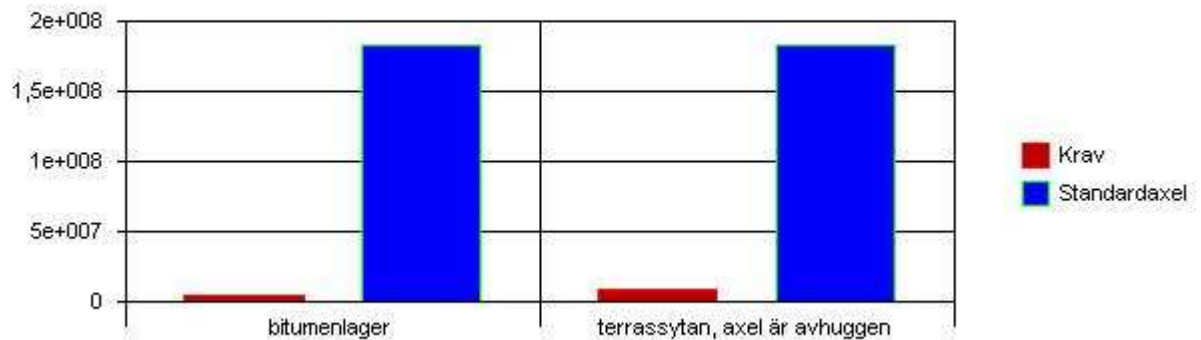
Trycktöjning i terrassytan, ackumulerad

Vinter	Tjällossningsvinter Höst		Tjällossning	Senvår	Sommar
0,000019	0,000017	0,000172	0,000149	0,000137	0,000137

Trycktöjning i terrassytan, enstaka last

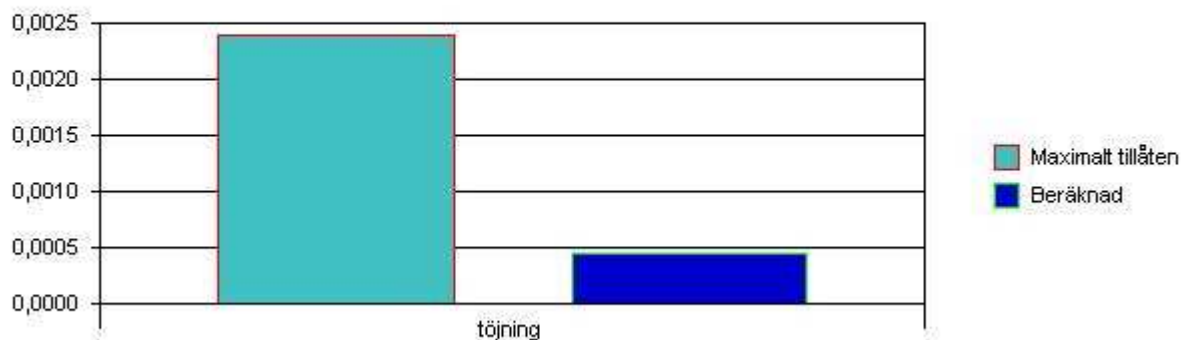
Vinter	Tjällossningsvinter Höst		Tjällossning	Senvår	Sommar
0,000050	0,000045	0,000444	0,000385	0,000353	0,000353

Antal axellaster, avser töjning i:



Antal axellaster, avser töjning i bitumenlager och terrassyta

Trycktöjning i terrassytan, av enstaka last



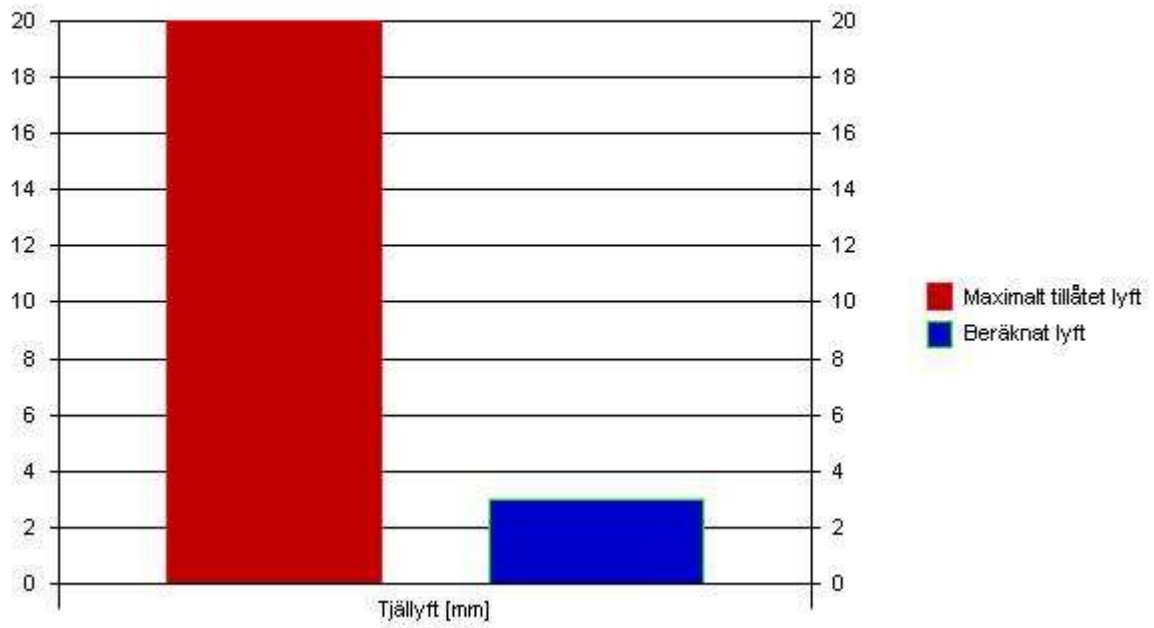
Trycktöjning i terrassyta, av enstaka last
--Sidbrytning--

Tjälberäkning

VViS Id:	1414	
Beräknat lyft(mm):	3	
Maximalt beräknat tjäldjup(mm):	875	
Max tillåtet lyft(mm):	20	
Lyfthastighet ovan terrass(mm/dag):	0,5	
Lyfthastighet under terrass(mm/dag):	1,5	
Grundvattentemperatur(C):	7,0	
Kvot:		0,15
VViS stationsnamn:	Delsjön	
X koordinat:	6400492	
Y koordinat:	1277147	
Z koordinat:	0	
Använd säsong:	95/96	

Kommentar:

Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft



Max tillåtet tjällyft och beräknat tjällyft

Bilaga 3



RAPPORT

Utfärdat av ackrediterat laboratorium
Besöksadress

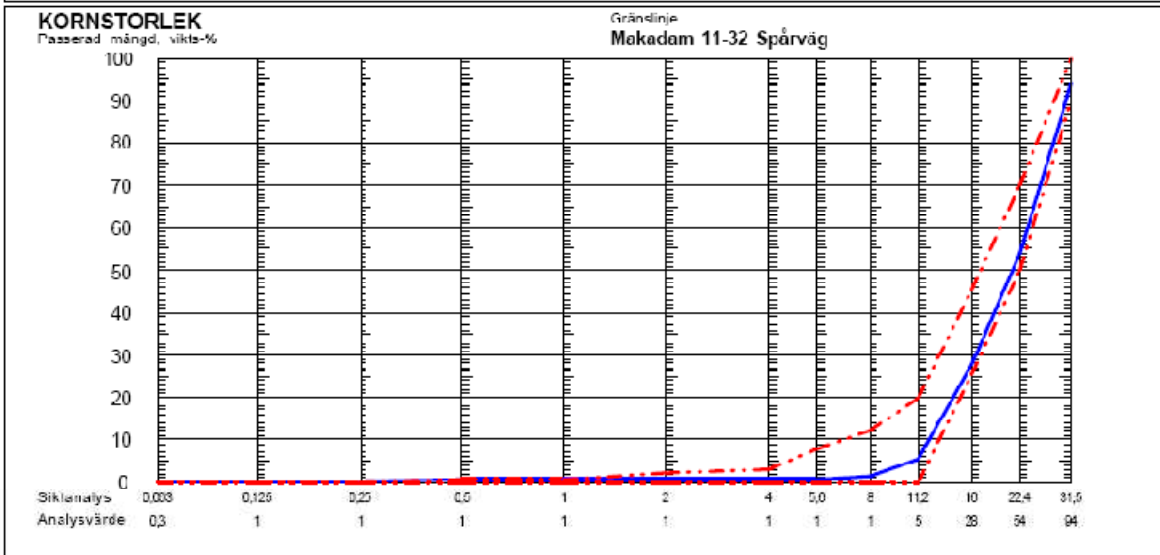
ISO/IEC 17025

Provnummer **1070217**

ANALYS Beläggningssmassa

Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab Tagenev.25 425 37 HISINGS KÄRRA Produkt Makadam 11-32 Leverantör Entreprenör Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Provtagningsdatum 2007-04-16 Ankomstdatum 2007-04-16 Referens Provtagningsplats Upplag krossen Provtagare KK&DK Märkning Prov 1 /Makadamballast för spårväg Kornkurva+S1	Analys start 2007-04-16 Analys slut 2007-04-16 Idnummer
---	---	---



Provresultat	Medelvärde	Recept	Notering
Kommentar		+/-	
SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning		,6,-,8	Ort och datum Hisingss Kärra 2007-05-04 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur
Enbart torrsiktning			
SS-EN 933-4 LT-index	25	0,6	
Analysprovets totalvikt (g)	2457,3		
Analyserad fraktion : 11,2 - 31,5			

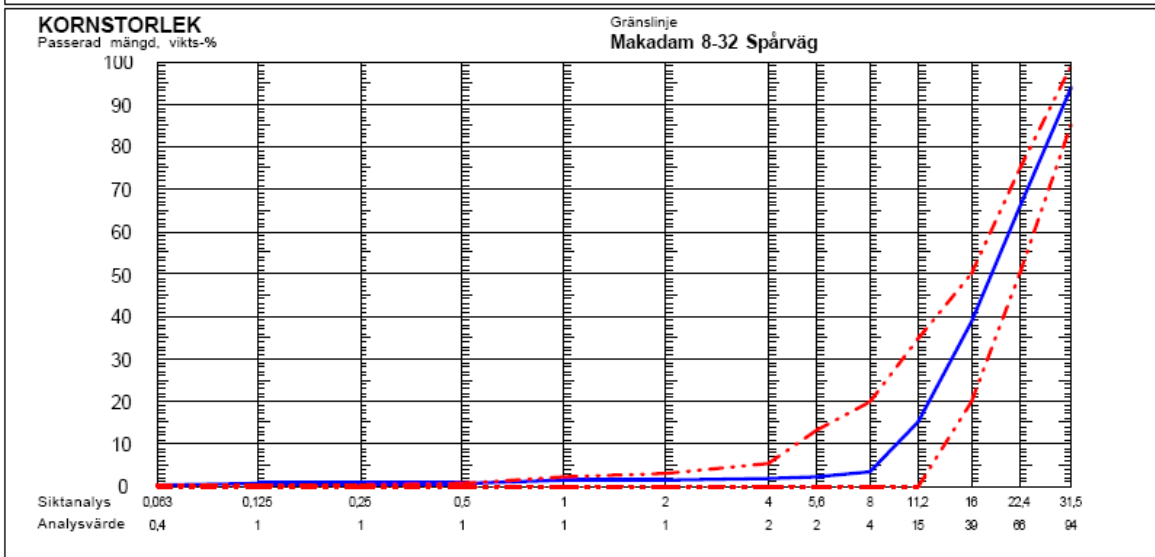
Proverresultat avser endast till laboratorieintern kommunikation.
STANSADESIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNAT ANGES: (E) efter analysresultat innebär en enkelprov är utförd.
 (FA) efter analysresultat innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under +/- är månsäkerhetsangivelse.
 Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänns annat.

Sten / Asfalt - normal rapport			
NCC Roads AB Sverige Sydväst	Internetadress	Styrelsens säte	VAT nr
Väglaboratorium	Tagenev.25 - Hisingss Kärra	031- 57 05 50	734325-7
Gullbergs Strandgata 2	Styrelsens säte	Telefon nr	E-mail adress
405 14 GÖTFORÖG	Solna	031- 57 85 86	5882-7700
			5856302330701

ANALYS Beläggningssmassa

Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provtagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16
Tagenev.25 425 37 HISINGS-KÄRRA Produkt Makadam 8-32 Leverantör	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-04-16
Entreprenör	Referens	Idnummer
Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Provtagningsplats Upplag krossen Provtagare KK&DK Märkning Prov 1 /Makadamballast för spårväg Kornkurva+S1	



Provresultat	Medel- värde	Recept +/-	Notering
SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning		,6,-8	Ort och datum Hisings Kärra 2007-05-04 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur
Enbart torrsiktning			
SS-EN 933-4 LT-index	23	0,6	
Analysprovets totalvikt (g)	2646,1		
Analyserad fraktion : 8 - 31,5			

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.
STANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNAT ANGES: (E) efter analys text innebär att enkelprov är utfört.
(EA) efter analys text innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under +/- är mätosäkerhetsangivelse
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

Sten / Asfalt - normal rapport

NCC Roads AB Sverige Sydväst
 Väglaboratorium
 Gullbergs Strandgata 2
 405 14 GÖTEBORG

Internetadress	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr
Tagenev.25 - Hisings Kärra	031- 57 85 50	556302-3307	731325-7
Styrelsens säte	Telefon nr	Org. nr	E'mail adress
Solna	031- 57 85 66	SE556302330701	5882-7700

ANALYS Beläggingsmassa

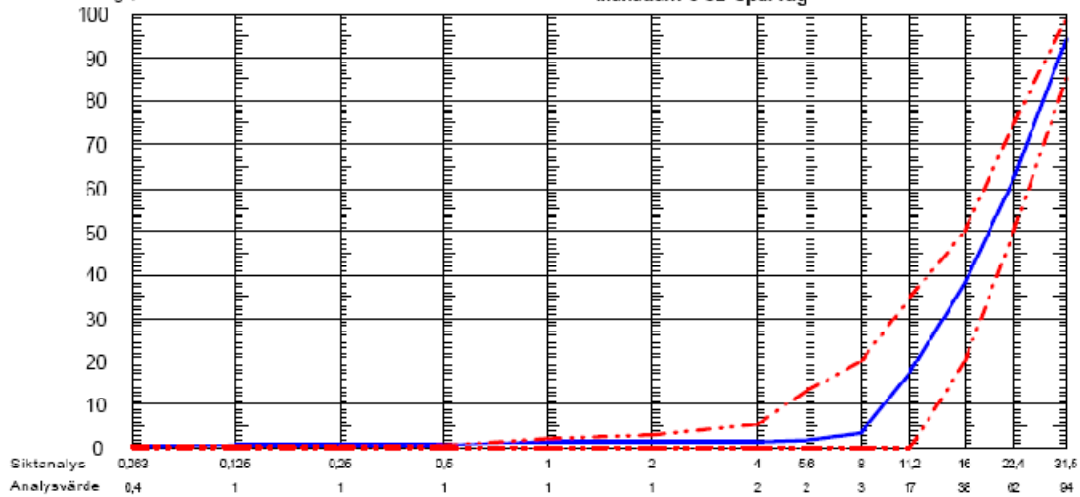
Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provlagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16
Tagenev.25 42537HISINGS-KÄRRA	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-04-18
Produkt Makadam 8-32	Referens	Idnummer
Leverantör	Provtagningsplats Upplag krossen	
Entreprenör	Provtagare KK&K	
Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Märkning Prov 2 /Makadamballast för spårväg Kornkurva+S	

KORNSTORLEK

Passerad mängd, vikts-%

Gränslinje

Makadam 8-32 Spårväg


Provrésultat	Model- värde	Recept +/-	Notering
SS-EN 933-1 Kornstorleksfördelning Enbart försiktning SS-EN 933-1 LT-index Analysprovets totalvikt (g) Analyserad fraktion : 0 - 31,5			Ort och datum Hisingss Kärra 2007-05-04 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur

Provrésultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.
 SIKTANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNA I ANGES: (t) efter analysresultat innebar att enkelprov är utfört.
 (tA) efter analysresultat innebar att metoden är ackrediterad. Värde under +/- avses som säkerhetsangivelse.
 Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkännt annat.

Sten / Asfalt - normal rapport

NCC Roads AB Sverige Sydväst

 Väglaboratorium
 Gullbergs Strandgata 2
 405 14 GÖTEBORG

 Interneadress Styrelsens säte
 Tagenev.25 - Hisingss Kärra 031-57 85 50
 Styrelsens säte Telefon nr
 Solna 031-57 85 66

 Telefax nr
 553302-3307
 Org. nr
 SE556302330701

 VAT nr
 731325-7
 E-mail adress
 5882-7700



RAPPORT

Utfärdat av ackrediterat laboratorium
Besöksadress

ISO/IEC 17025


Provnummer **1070221**

ANALYS Beläggningssmassa

Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provtagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16
Tagenev.25 425 37 HISINGS-KÄRRA Produkt	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-05-04
Makadam 11-16 Leverantör	Referens	Idnummer
Entreprenör	Provtagningsplats Upplag krossen	
Objekt X-JOEB CHALMERS 2007	Provtagare KK&DK	
	Malkning Prov 1 /Makadamballast för spårväg LA+MD	

Provresultat Kommentar	Medel- värde	Mätosäker- het +/-	Recept
SS-EN 1097-1 Micro-Deval	6	0,4	
Analysprov A (%)	5,7		
Analysprov B (%)	6,0		
Vätt analysprov			
SS-EN 1097-2 Los Angeles tal	26		

Notering SS-EN 1097-1 (bilaga B) och SS-EN 1097-2 (bilaga A) kördes på fraktion 11,2-16	Ort och datum Hisings Kärra 2007-05-04
	 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov
STANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANKÄNT ANGES: (E) efter analysstart innebär att enkelprov är utfört.
(CA) efter analysstart innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under 1/4 är mätosäkerhetsangivelse
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat

Sten / Astalt - rapport utan kurva				
NCC Roads AB Sverige Sydväst	Internetadress	Styrelsens säte	Telefax nr	VAT nr
Väglaboratoriet	Tagenev.25 - Hisings Kärra	031- 87 85 50	556302-3307	731325-7
Gullbergs Strandgata 2	Styrelsens säte	Telefon nr	Org nr	E-mail adress
405 14 GÖTEBORG	Solna	031- 87 85 66	SE556302330701	5882-7700



RAPPORT

Utfärdat av ackrediterat laboratorium
Besöksadress

1523
ISO/IEC 17025


Provnnummer **1070222**

ANALYS Beläggningssmassa

Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provtagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16
Tagenev.25 42537 HISINGS-KÄRRA Produkt Makadam 11-16 Leverantör	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-05-04
Entreprenör	Referens	Idnummer
Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Provtagningsplats Upplag krossen Provtagare KK&DK Märkning Prov 2 /Makadamballast för spårväg LA+MD	

Provresultat Kommentar	Medel- värde	Mätosäker- het +/-	Receipt
SS-EN 1097-1Micro-Deval	6	0,4	
Analysprov A (%)	6,1		
Analysprov B (%)	6,1		
Vått analysprov			
SS-EN 1097-2 Los Angeles tal	25		

Notering SS-EN 1097-1(bilaga B) och SS-EN 1097-2 (bilaga A) kördes på fraktion 11,2-16	Ort och datum Hisings Kärra 2007-05-04
	 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.
STANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNAT ANGES: (E) efter analys text innebär att enkelprov är utfört.
(EA) efter analys text innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under +/- är mätosäkerhetsangivelse.
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

Sten / Asfalt - rapport utan kurva

NCC Roads AB Sverige Sydväst

Väglaboratorium
Gullbergs Strandgata 2
405 14 GÖTEBORG

Internetadress
Tagenev.25 - Hisings Kärra
Styrelsens säte
Solna

Styrelsens säte
031- 57 85 50
Telefon nr
031- 57 85 66

Telefax nr
556302-3307
Org. nr
SE556302330701

VAT nr
731325-7
E'mail adress
5882-7700




RAPPORT

Utfärdat av ackrediterat laboratorium
Besöksadress

1523
ISO/IEC 17025

Provnnummer **1070223**

ANALYS Beläggningssmassa		Sidan 1 av 1		
Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provtagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16		
	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-04-19		
Tagenev.25 425 37 HISINGS-KÄRRA Produkt Krossmaterial 10-14 mm Leverantör	Referens	Idnummer		
Entreprenör	Provtagningsplats Upplag krossen	Provtagare KK&DK		
Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Märkning Prov 1 /Makadamballast för spårväg LA+MD			
Provresultat	Medel-	Mätosäker-	Receipt	
Kommentar	värde	het +/-		
SS-EN 1097-1 Micro-Deval	8	0,4		
Analysprov A (%)	7,7			
Analysprov B (%)	7,6			
Vått analysprov				
Fraktion 10,0 - 12,5 och 12,5 - 14,0 mm				
SS-EN 1097-2 Los Angeles tal	26			
Fraktion 10,0 - 12,5 och 12,5 - 14,0 mm				
Notering	Ort och datum Hisings Kärra 2007-05-04			
				
	Khalid Kader, Stf. teknisk ledare			
	Underskriften är en elektronisk signatur			
Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov. STANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNAT ANGES: (E) efter analys text innebär att enkelprov är utfört. (EA) efter analys text innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under +/- är mätosäkerhetsangivelse				
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.				

Sten / Asfalt - rapport utan kurva

NCC Roads AB Sverige Sydväst

Väglaboratorium
Gullbergs Strandgata 2
405 14 GÖTEBORG

Internetadress
Tagenev.25 - Hisings Kärra
Styrelsens säte
Solna

Styrelsens säte
031- 57 85 50
Telefon nr
031- 57 85 66

Telefax nr
556302-3307
Org. nr
SE556302330701


VAT nr
731325-7
E'mail adress
5882-7700

ANALYS Beläggningssmassa

Sidan 1 av 1

Beställare NCC Roads Sydväst Kärra Väglab	Provtagningsdatum 2007-04-16	Analys start 2007-04-16
Tagenev.25 42537 HISINGS-KÄRRA	Ankomstdatum 2007-04-16	Analys slut 2007-04-19
Produkt Krossmaterial 10-14 mm	Referens	Idnummer
Leverantör	Provtagningsplats Upplag krossen	
Entreprenör	Provtagare KK&DK	
Objekt X-JOBB CHALMERS 2007	Märkning Prov 2 /Makadamballast för spårväg LA+MD	

Provresultat Kommentar	Medel- värde	Mätosäker- het +/-	Receipt
SS-EN 1097-1 Micro-Deval	8	0,4	
Analysprov A (%)	7,9		
Analysprov B (%)	7,4		
Vått analysprov			
Fraktion 10,0 - 12,5 och 12,5 - 14,0 mm			
SS-EN 1097-2 Los Angeles tal	27		
Fraktion 10,0 - 12,5 och 12,5 - 14,0 mm			

Notering	Ort och datum Hisings Kärra 2007-05-04
	 Khalid Kader, Stf. teknisk ledare Underskriften är en elektronisk signatur

Provresultat avser endast till laboratoriet inkommit prov.
STANSADE SIKTAR ANVÄNDS OM EJ ANNAT ANGES: (E) efter analys text innebär att enkelprov är utfört.
(EA) efter analys text innebär att metoden ej är ackrediterad. Värde under +/- är mätosäkerhetsangivelse
Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg godkänt annat.

Sten / Asfalt - rapport utan kurva

NCC Roads AB Sverige Sydväst

 Väglaboratorium
 Gullbergs Strandgata 2
 405 14 GÖTEBORG

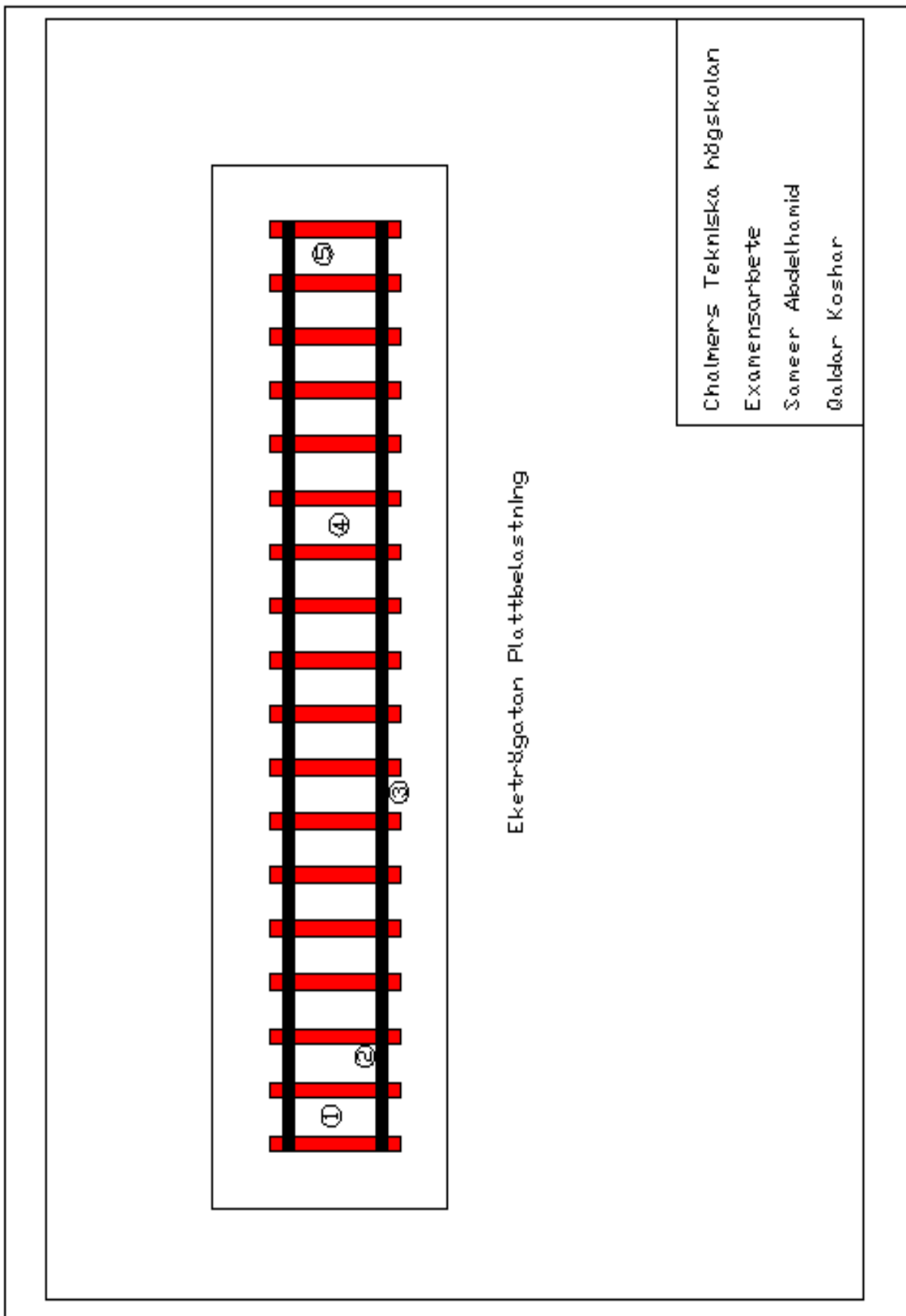
 Internetadress
 Tagenev.25 - Hisings Kärra
 Styrelsens säte
 Solna

 Styrelsens säte
 031- 57 85 50
 Telefon nr
 031- 57 85 66

 Telefax nr
 556302-3307
 Org. nr
 SE556302330701

 VAT nr
 731325-7
 E'mail adress
 5882-7700

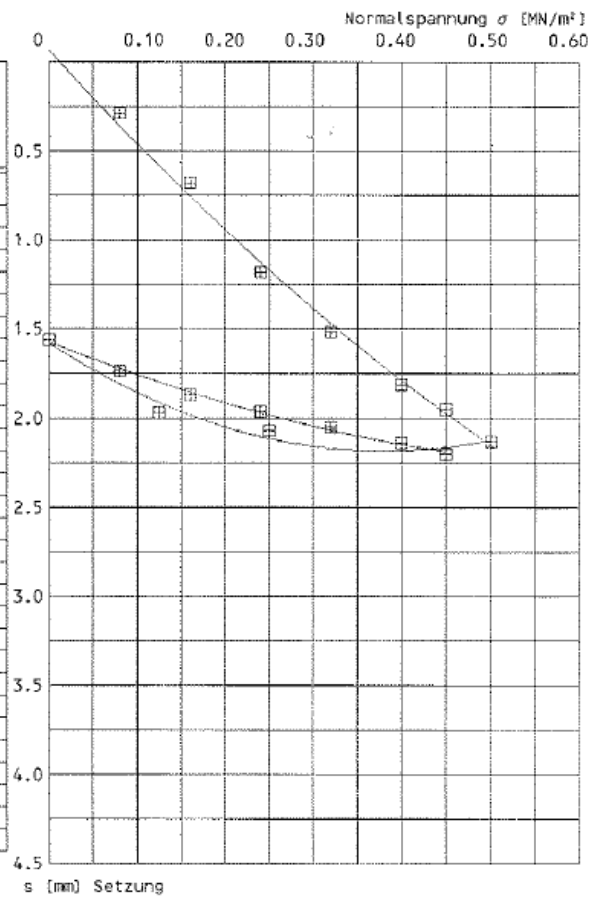
Bilaga 4



PLATTBELASTUNG
VÄGVERKET / KONSULT / VÄGLABORATORIET / AMIR RAJABI
MOTORGATAN 2 442 40 KUNGÄLV - TEL: 031-3396140-3

PLATTENDRUCKVERSUCH DIN 18134 - 300 (01.93)		Prüfung: EKETREGATAN Anlage: MAKADAMR	
Bauvorhaben: Meßstelle: Prüftiefe: Prüfschicht: Bemerkung:	Datum: 07-06-25 Provtagare: VV/LAB KUNGÄLV/AMIR RAJABI BANVERKET SEKTION: PUNKT 1 MITT	Ausführung der Prüfung am: 07.06.25 durch: durch: SOL	
Druckplatte: d = 300 mm Meßarmfaktor: 1	Anfang: 10:00h Ende: 13:00h Temperatur und Witterung: 17°C	Vortag	
Plattenunterlage: Ausgrabung:			

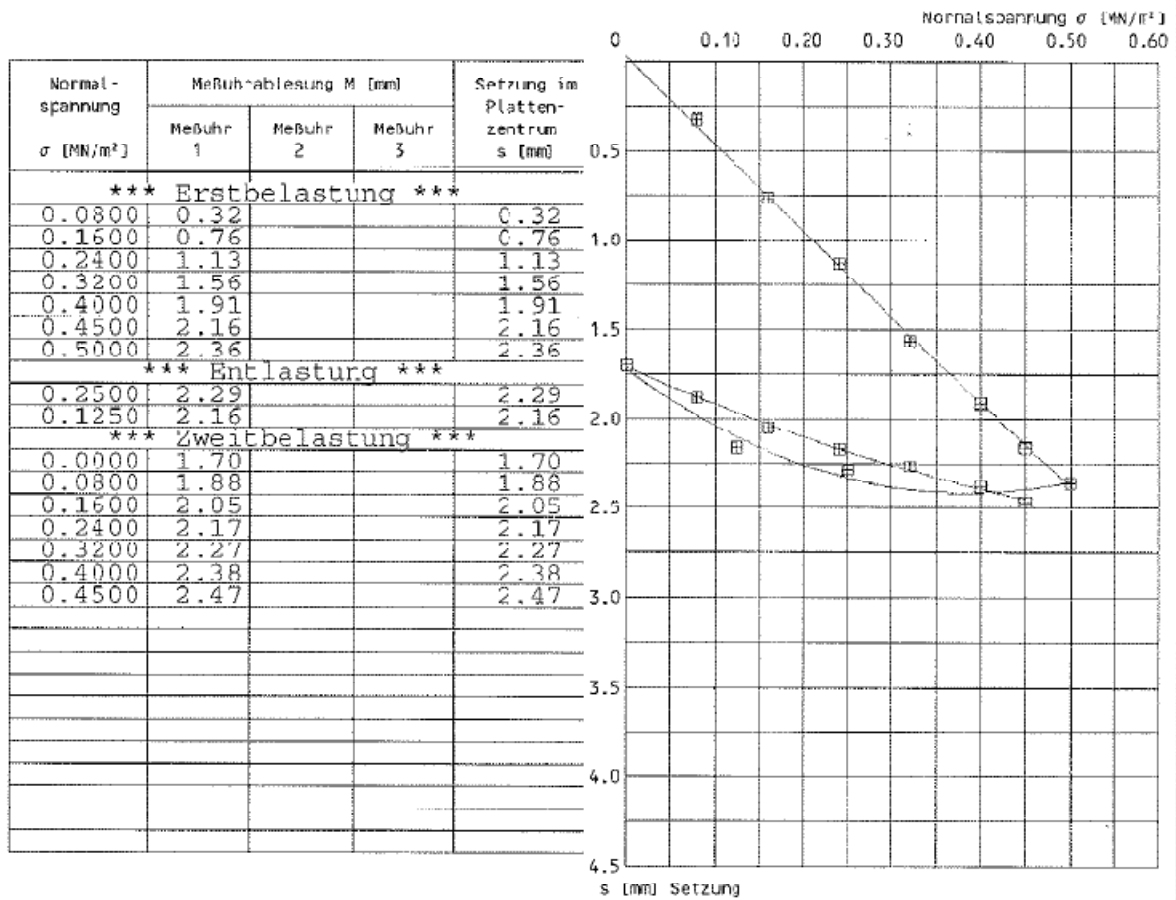
Normal- spannung σ [MN/m ²]	Meßuhrablesung M [mm]			Setzung im Platten- zentrum s [mm]
	Meßuhr 1	Meßuhr 2	Meßuhr 3	
*** Erstbelastung ***				
0.0800	0.29			0.29
0.1600	0.68			0.68
0.2400	1.18			1.18
0.3200	1.52			1.52
0.4000	1.81			1.81
0.4500	1.95			1.95
0.5000	2.13			2.13
*** Entlastung ***				
0.2500	2.07			2.07
0.1250	1.97			1.97
*** Zweitbelastung ***				
0.0000	1.56			1.56
0.0800	1.74			1.74
0.1600	1.87			1.87
0.2400	1.96			1.96
0.3200	2.05			2.05
0.4000	2.14			2.14
0.4500	2.20			2.20



Nr.	σ_{1max}	a_1 [mm/(MN/m ²)]	a_2 [mm/(MN/m ²) ²]	$E_{v1} = 0.75 \cdot d / (a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1max})$	E_{v2} / E_{v1}
1	0.5000	6.825	-4.179	$E_{v1} = 47.51 \text{ MN/m}^2$	3.66
2	0.5000	1.963	-1.337	$E_{v2} = 173.79 \text{ MN/m}^2$	

FLATTBELASTUNG
VÄGVERKET / KONSULT / VÄGLABORATORIET / AMTR RAJABI
MOTORGATAN 2 442 40 KUNGÄLV - TEL: 031-3396140-3

PLATTENDRUCKVERSUCH DIN 18134 - 300 (01.93)		Prüfung: EKETREGATAN Anlage: MAKADAMR	
Bauvorhaben: Maßstelle:	Datum: 07-06-25 Provtagare: VV/LAB KUNGÄLV/AMTR RAJABI	Ausführung der Prüfung am: 07.06.25 durch:	
Prüftiefe: Prüfschicht: Bemerkung:	BANVERKET SEKTION: PUNKT 2 H.S SPÄR	durch: SOL	
Druckplatte: Maßstabsfaktor:	d = 300 mm 1	Anfang 10:00h	Ende 13:00h Temperatur und Witterung 17c
Plattenunterlage: Ausgrabung:	Vortag		



Nr.	σ_{1max}	a1 [mm/(MN/m ²)]	a2 [mm/(MN/m ²) ²]	$E_v = 0.75 * d / (a1 + a2 * \sigma_{1max})$	Ev2 / Ev1
1	0.5000	5.591	-1.249	Ev1 = 45.30 MN/m ²	3.12
2	0.5000	2.213	-1.245	Ev2 = 141.48 MN/m ²	

(C) 1993 2.06 J. Freundl, Werner-von-Siemens-Str. 1, D-30974 Wannigsen, TEL: (05103) 8653, FAX: (05103) 8131

P L A T T B E L A S T N I N G
 VÄGVERKET / KONSULT / VÄGLABORATORIET / AMIR RAJABI
 MOTORGATAN 2 442 40 KUNGÄLV - TEL: 031-3396140-3

PLATTENDRUCKVERSUCH
 DIN 18134 - 300 (01.93)

Prüfung: EKETREGATAN
 Anlage: MAKADAMR

Bauvorhaben: Datum: 07-06-25
 Meßstelle: Provtagare: VV/LAB KUNGÄLV/AMIR RAJABI
 Prüftiefe:
 Prüfschicht: BANVERKET
 Bemerkung: SEKTION: PUNKT 3 Ute spår

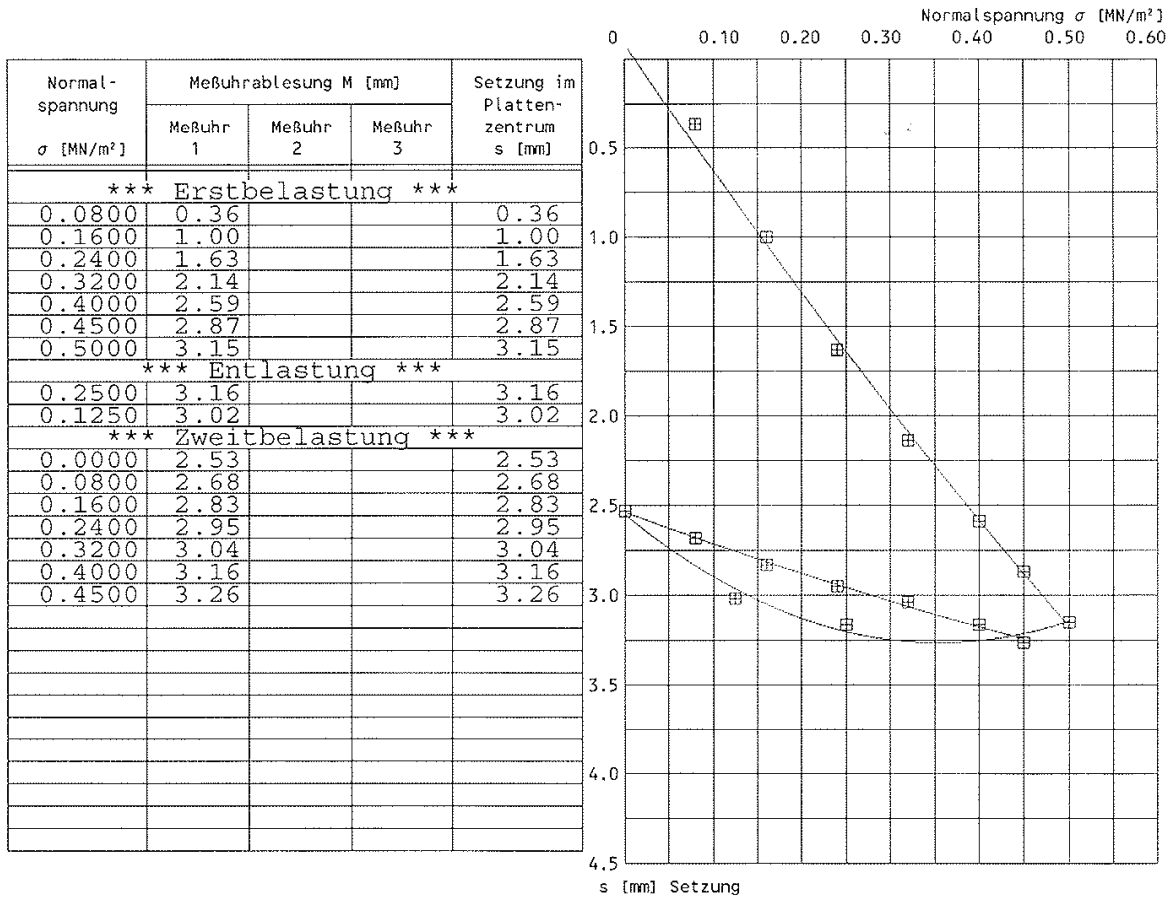
Ausführung der Prüfung
 am: 07.06.25
 durch:
 durch: SOL

Druckplatte: d = 300 mm
 Meßarmfaktor: 1

Anfang	Ende	Temperatur und Witterung
10:00h	13:00h	17C

Plattenunterlage:
 Ausgrabung:

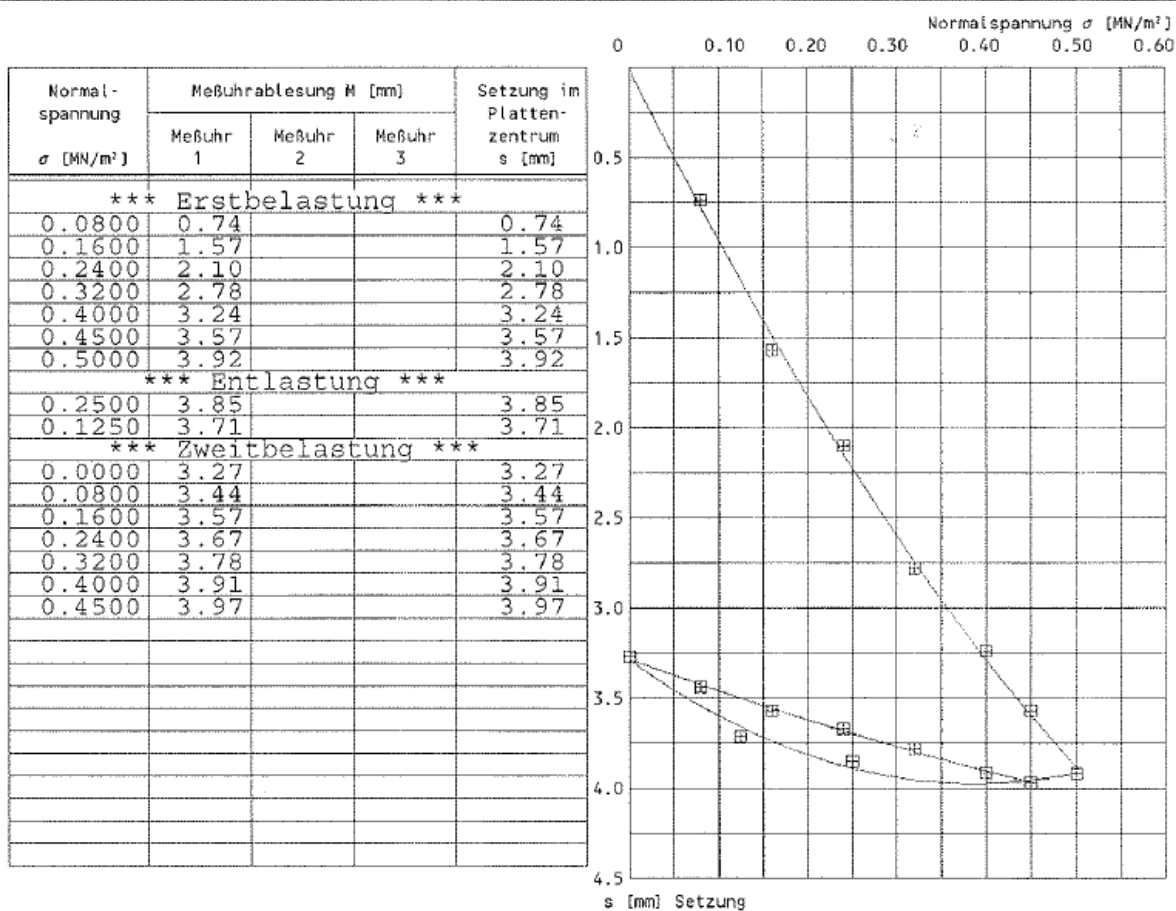
Vortag



Nr.	σ_{1max}	a1 [mm/(MN/m ²)]	a2 [mm/(MN/m ²) ²]	$E_v = 0.75 \cdot d / (a_1 + a_2 \cdot \sigma_{1max})$	E_{v2} / E_{v1}
1	0.5000	9.171	-4.450	$E_{v1} = 32.39 \text{ MN/m}^2$	4.52
2	0.5000	1.821	-0.566	$E_{v2} = 146.33 \text{ MN/m}^2$	

P L A T T B E L A S T N I N G
VÄGVERKET / KONSULT / VÄGLABORATORIET / AMIR RAJABI
MOTORGATAN 2 442 40 KUNGÄLV - TEL: 031-3396140-3

PLATTENDRUCKVERSUCH DIN 18134 - 300 (01.93)		Prüfung: EKETREGATAN Anlage: MAKADAMR	
Bauvorhaben: Meßstelle:	Datum: 07-06-25 Provtagare: VV/LAB KUNGÄLV/AMIR RAJABI	Ausführung der Prüfung am: 07.06.25 durch:	
Prüftiefe: Prüfschicht: Bemerkung:	BANVERKET SEKTION: PUNKT 4 MITT SPÄR	durch: SOL	
Druckplatte: Meßarmfaktor:	d = 300 mm 1	Anfang 10:00h	Ende 13:00h
Plattenunterlage: Ausgrabung:		Temperatur und Witterung 17°C	



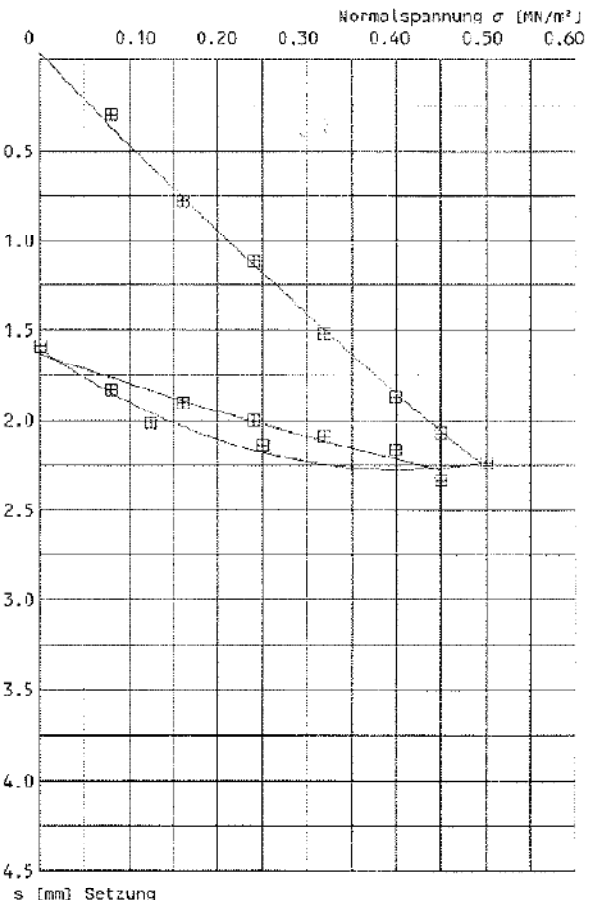
Nr.	σ_{1max}	a1 [mm/(MN/m ²)]	a2 [mm/(MN/m ²) ²]	Ev = 0.75 * d / (a1 + a2 * σ_{1max})	Ev2 / Ev1
1	0.5000	9.947	-4.408	Ev1 = 29.06 MN/m ²	5.21
2	0.5000	1.819	-0.667	Ev2 = 151.51 MN/m ²	

(C) 1993 2.06 J. Freundl, Werner-von-Siemens-Str. 1, D-30974 Wennigsen, TEL: (05103) 8650, FAX: (05103) 8131

PLATTBELASTUNG
VÄGVERKET / KONSULT / VÄGLABORATORIET/AMIR RAJABI
MOTORGATAN 2 442 40 KUNGÄLV - TEL:031-3396140-3

PLATTENDRUCKVERSUCH DIN 18134 - 300 (01.93)	Prüfung: EKETREGATAN Anlage: MAKADAMR									
Bauvorhaben: Datum: 07-06-25 Meßstelle: Provtagare:VV/LAB KUNGÄLV/AMIR RAJABI Prüftiefe: BANVERKET Prüfschicht: SEKTION:PUNKT 5 MITT SPÄR Bemerkung:	Ausführung der Prüfung am: 07.06.25 durch: durch: SOL									
Druckplatte: d = 300 mm Meßarmfaktor: 1	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Anfang</td> <td style="width: 33%;">Ende</td> <td style="width: 34%;">Temperatur und Witterung</td> </tr> <tr> <td>10:00h</td> <td>13:00h</td> <td>17C</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Vortag</td> </tr> </table>	Anfang	Ende	Temperatur und Witterung	10:00h	13:00h	17C	Vortag		
Anfang	Ende	Temperatur und Witterung								
10:00h	13:00h	17C								
Vortag										
Plattenunterlage: Ausgrabung:										

Normal- spannung σ [MN/m ²]	Meßuhrablesung M [mm]			Setzung im Platten- zentrum s [mm]
	Meßuhr 1	Meßuhr 2	Meßuhr 3	
*** Erstbelastung ***				
0.0800	0.30			0.30
0.1600	0.78			0.78
0.2400	1.11			1.11
0.3200	1.52			1.52
0.4000	1.87			1.87
0.4500	2.07			2.07
0.5000	2.24			2.24
*** Entlastung ***				
0.2500	2.14			2.14
0.1250	2.01			2.01
*** Zweitbelastung ***				
0.0000	1.59			1.59
0.0800	1.83			1.83
0.1600	1.90			1.90
0.2400	2.00			2.00
0.3200	2.09			2.09
0.4000	2.16			2.16
0.4500	2.33			2.33



Nr.	σ_{max}	a_1 [mm/(MN/m ²)]	a_2 [mm/(MN/m ²) ²]	$E_v = 0.75 * d / (a_1 + a_2 * \sigma_{max})$	E_{v2} / E_{v1}
1	0.500C	5.961	-2.325	$E_{v1} = 46.89 \text{ MN/m}^2$	3.44
2	0.500C	1.687	-0.583	$E_{v2} = 151.20 \text{ MN/m}^2$	

Objekt: Ekerregatan hållplatsen eller Soterusgatan.	Provtagningsdatum: 2007-06-25	Provtagnare: VV/KUNGÄLV/LAB AMIR RAJABI
Beställare(enhet): Banverket	Märkning:	Underlag: Makadam

SAMMANSTÄLLNING AV PLATTBELASTNING MÄTRESULTAT

NR	SEKTION	EV1 (MN/m ²)	EV2 (MN/m ²)	EV2/EV1
1	Punkt 1 mitt spår	47,51	173,79	3,66
2	Punkt 2 H.sida spår	45,30	141,48	3,12
3	Prov 3 Ute spår	32,39	146,33	4,52
4	Prov 4 Mitt spår I	29,06	151,51	5,21
5	Prov 5 Mitt spår	46,89	161,20	3,44

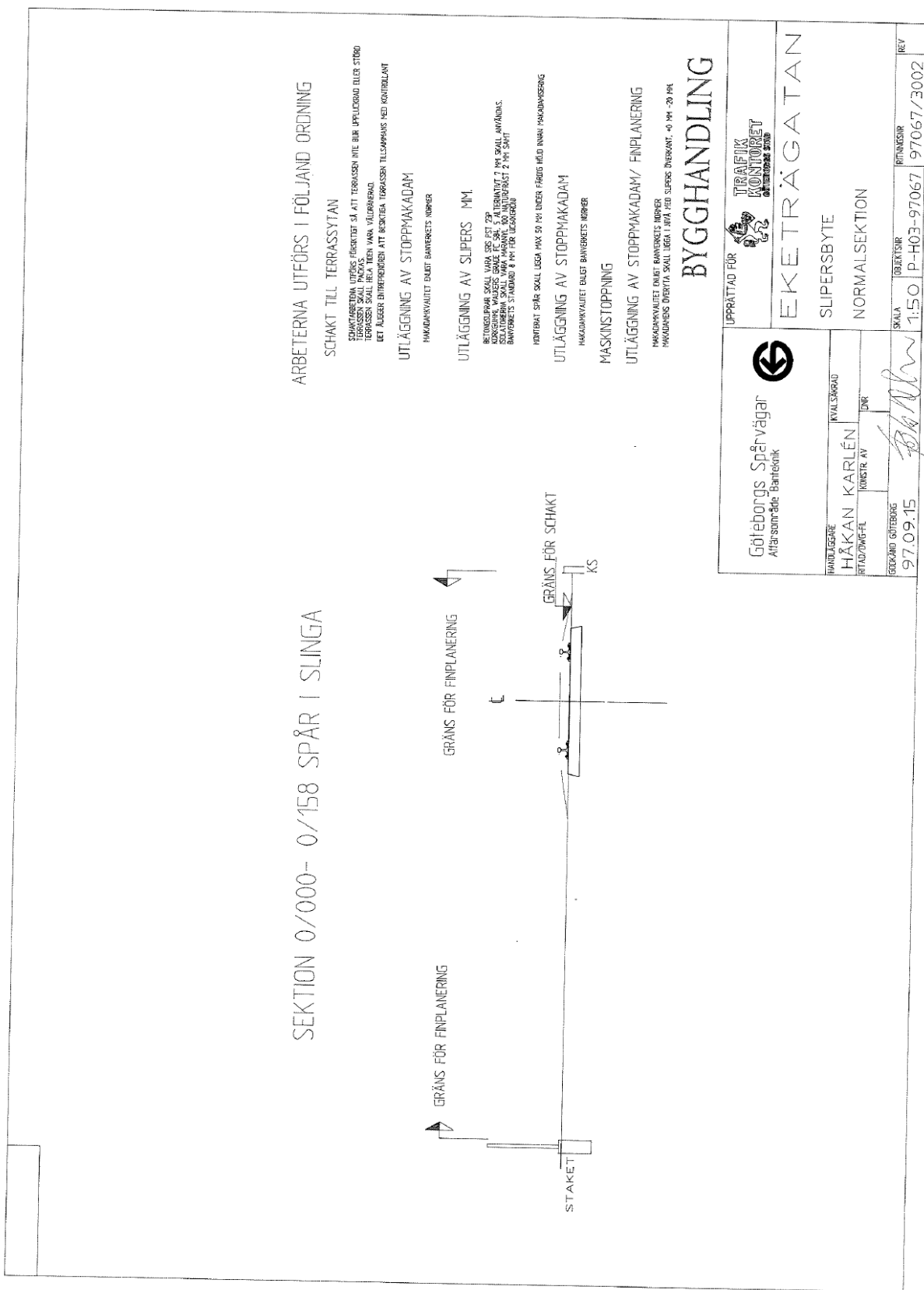
Anteckningar:

LABORATORIE/TIKUNGÄLV
TEL: 0303-48700
Mob: 070 66039215
FAX: 0303 - 93 8065

0706588

SIG N
Amir Rajabi

Bilaga 5



SEKTION 0/000- 0/158 SPÅR 1 SLINGA

ARBETENA UTFÖRS I FÖLJAND ORDNING

SCHAKT TILL TERRASSYTAN

DETVÄRRENA UTFÖRS FÖRSTÄRT SÅ ATT TERRASSEN INTE BILR UPPLOCRAD ELLER STÖR
TERRASSEN SKALL HELA TIDEN VARA VILDRÄNSAD
DET ÅLIGER ENTREPRENÖREN ATT BESÖKTEA TERRASSEN TILLSAMMIS MED KONTROLLANT

UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM

HAKADÄNKVALITET EULET BANVERKETS NÖRBER

UTLÄGGNING AV SLIPERS MM.

DETVÄRRENA SKALL LIGGA 50 MM ÖFR 27
KORSGRÄNS MÅLSESS 2000 50
SKALITERRAMA SKALL VARA MÅLSESS 100
BANVERKETS STANDARD 8 PPT FÖR LÖSGRÖDD

HÖRDBAKT SPÅR SKALL LIGGA MAX 50 PPT UNDER FRÄNG HÖD INOM HAKADÄNKERING

UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM



HAKADÄNKVALITET EULET BANVERKETS NÖRBER

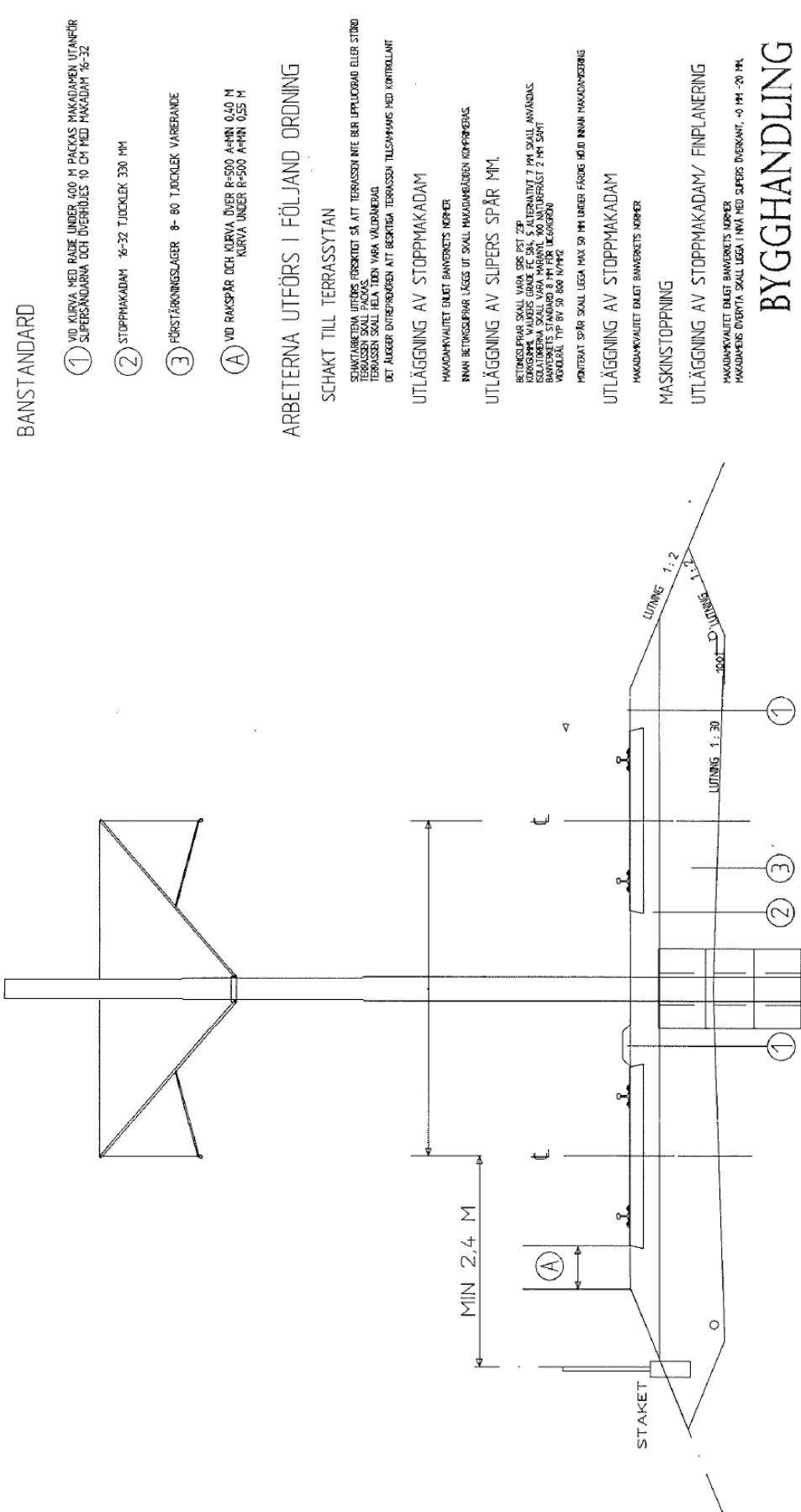
MASKINSTÖPPNING

UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM/ FINPLANERING

HAKADÄNKVALITET EULET BANVERKETS NÖRBER
MAKADÄNK ÖVERVITA SKALL LIGGA I RIVA MED SLIPERS ÖVERKANT -0 144 -20 144

BYGGHANDLING

 <p>Göteborgs Spårvägar Affärsområde BanTeknik</p>		<p>UPPRÄTTAD FÖR</p>  <p>TRAFIK KONTORPET GÖTEBORGS STIVA</p>	
<p>HANTLÄGGARE HÅKAN KARLÉN RITAD/ÄMPL KONSTR. AV DNK</p>		<p>EKE TRÄGATAN</p>	
<p>GEORDNAD GÖTEBORG 97.09.15</p>		<p>SLIPERSBYTE NORMALSEKTION</p>	
<p>SKALA</p>	<p>OBJEKTSNR</p>	<p>RITINGSNR</p>	<p>REV</p>
<p>1:50</p>	<p>P-H03-97067</p>	<p>97067/3002</p>	<p></p>



BANSTANDARD

- ① VID KURVA MED RÅDE UNDER 400 M PÅCKAS MAKADAMEN UTFÄNFR SUPERSANDARNA OCH ÖVERHÖJS 10 CM MED MAKADAM 16-32
- ② STOPPMAKADAM 16-32 TJOCKLEK 330 MM
- ③ FÖRSTÄRKNINGSLAGER 8-80 TJOCKLEK VÄRERANDE
- Ⓐ VID RAKSPÅR OCH KURVA ÖVER R=500 A-MIN 0,50 M KURVA UNDER R=500 A-MIN 0,55 M

ARBETENA UTFÖRS I FÖLJAND ORDNING

SCHAKT TILL TERRASSYTAN

SCHAKTARBETENA UTFÖRS FÖREKÖPT SÅ ATT TERRASSEN INTE BLIR UPPLOSTAD ELLER STÖRD. TERRASSEN SKALL FÄSTAS TILL VÄGVALET. VÄGVALET SKALL HA EN VÄRDEAVBUD. DET ÅLIGER ENTREPRENÖREN ATT BEREDA TERRASSEN TILLSAMMAS MED KONTROLLANT

UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM

MAKADAMKVALITET ENLIGT BANVERKETS KORPER. INOM BETINGSFÄR LÄGS UT SKALL MAKADAMBEREEN KORPERENS

UTLÄGGNING AV SUPERS SPÅR MM.

BETONGSPÅR SKALL VARA 500 BET 270 KORREKT. VALJES GRADE FC SKÅ 5 ALTERNATIV 7 MM SKALL ANVÄNDAS. ISOLIERING SKALL VARA MINIMALT 900 NATURFÄST 2 MM SÄMT VÄRDEAVBUD. FÄSTNINGEN SKALL HA EN VÄRDEAVBUD. VÄRDEAVBUD 1:1 50 000 N/170

MONTEBAT SPÅR SKALL LEGA MAX 50 MM UNDER FÄRÖG HÖJD INNAN MAKADAMBERING

UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM

MAKADAMKVALITET ENLIGT BANVERKETS KORPER

MASKINSTOPPNING

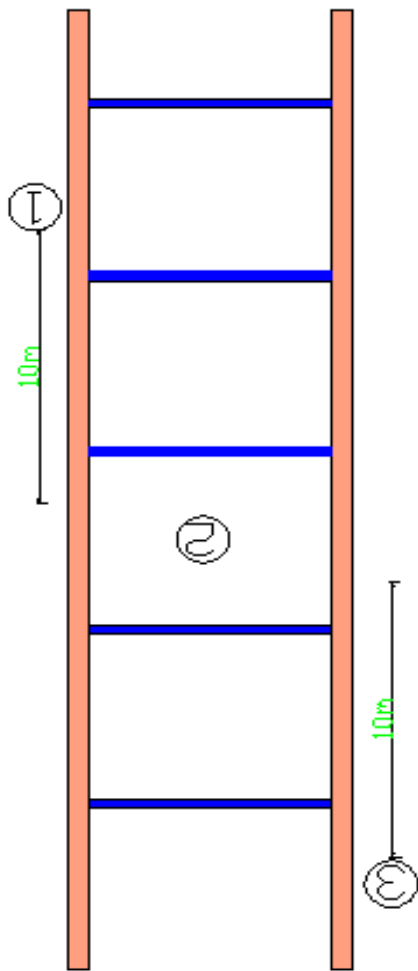
UTLÄGGNING AV STOPPMAKADAM/ FINPLANERING

MAKADAMKVALITET ENLIGT BANVERKETS KORPER. MAKADAMENS ÖVERSTA SKALL LEGA I NIVÅ MED SUPERS ÖVERKANT, +0 MM -20 MM.

BYGGHANDLING

HÄKAN KARLÉN RITAD/DWG-FL KONSTR. AV ÖMR		EKETRÄGATAN RÄLBYTE STANDARDRITNING	
GÖTEBORG 97.09.15	SKALA 1:50	OBJEKTSNR P-H03-97067	RITINGSNR 97067/3001

Bilaga 6

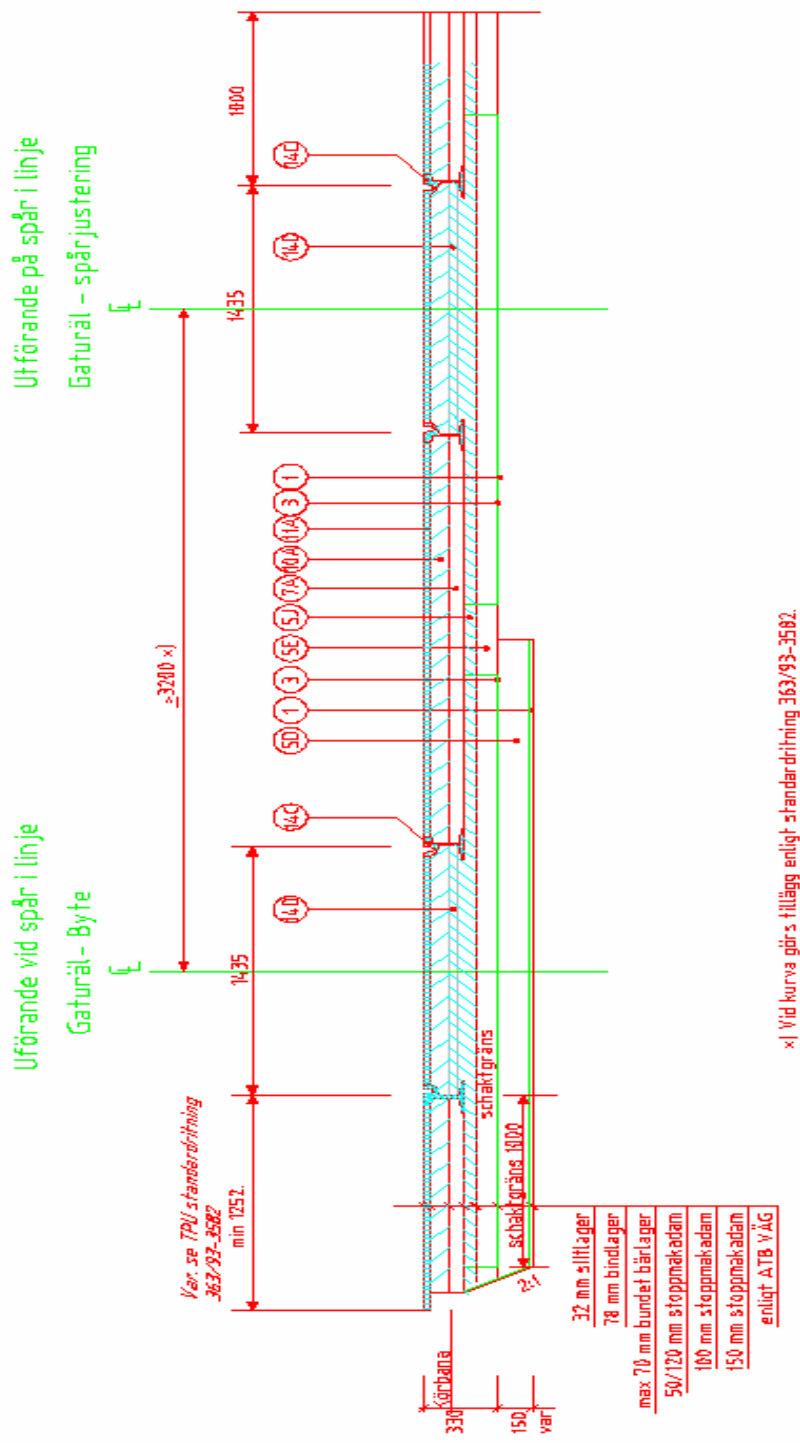


Chalmers tekniska högskolan

Examensarbete

Plattbelastningen

Guldheden



Mått i millimeter om annat ej anges

