

Packningskontroll av lermoränterasser

- Bärighet jämfört med luftporhalt och densitet



**LUNDS
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för teknik och samhälle, Avdelningen trafik och väg**

Examensarbete:
Martin Svensson

© Copyright Martin Svensson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2008

Sammanfattning

Vid ytstabilisering behövs en metod för att kontrollera det packade materialets beständighet. Yttäckande packningskontroll (YPK) kan används för att få en överblick och lokalisera områden med dålig bärighet. Där bärigheten är dålig kan materialet vara sämre packat, vilket kan betyda att luftporhalten är hög. En hög luftporhalt betyder att materialet är dåligt packat. En bra packning ger en låg luftporhalt, vilket är nyckeln till en bra beständighet. I området med dålig bärighet mäts densitet och vattenkvot med densitetsmätare. Dessa värden används för att beräkna luftporhalten. Om luftporhalten är för hög måste området packas om, alternativt fräsas om med efterföljande packning.

YPK fungerar mycket bra vid grovkorniga (granulära) jordar. Men för finkorniga (kohesiva) jordar kan problem uppstå, exempelvis portryck.

Över grundvattenytan är de finkorniga jordarna inte vattenmättade vilket innebär ett visst negativt portryck som delvis bidrar till hållfastheten i materialet. Vid packning med YPK kan dock ett positivt portryck byggas upp. Portrycket inverkar negativt på bärigheten och hållfastheten. En metod att komma runt problemet är att låta marken vila. Men detta skulle göra att packningen kan dra ut på tiden i många fall.

Färdigstabiliserad mark kontrolleras med statisk plattbelastning eller lätt fallvikt. För statisk plattbelastning kan antingen statistisk acceptansk kontroll (SAK) eller reducerad acceptansk kontroll med YPK användas. Den senare används av Peab då antalet kontrollpunkter reduceras kraftigt. Plattbelastning är en förhållandevis tidskrävande kontrollmetod varav reducerad acceptansk kontroll med YPK används. Sämsta området väljs ut enligt YPK-resultatet för kontroll med plattbelastning och fallvikt.

För att undersöka om YPK hittar de sämsta punkterna för plattbelastningskontroll på lermoränterass gjordes mätningar med olika instrument och utrustningar i detta arbete. Resultaten visar att de sämsta punkterna enligt YPK även överensstämmer med SAK. Det allra sämsta området missades dock med SAK. Jämförs YPK och luftporhalten överensstämmer inte resultaten helt. YPK är inte tänkt att användas för luftporhalt men en hög luftporhalt kan betyda dålig bärighet, vilket YPK mäter. Storleken på testytan spelar in på tillförlitligheten i resultaten, en större yta hade gett en högre statistisk säkerhet.

Nyckelord: Stabilisering, Vägbyggnad, Luftporhalt, Yttäckande Packningskontroll, Lermorän.

Abstract

For surface stabilisation a control method for controlling the air void ratio is needed. Continuous Compaction Control (CCC) can be used to gain an overview and localise areas with low carrying capacity. At these areas the compaction level might be low and in that case the air void percentage can be high. A low air void percentage means a high compaction level which is critical for a long life expectancy of the material. In areas with low relative bearing capacity the density and water percentage is controlled using a Troxler density gauge. The values from the density gauge are used to calculate the air void percentage. If the air void level is too high the area might have to be remixed and compacted. But usually it only require to be recompacted

For large grained soils the CCC gives good results. But in fine grained soils the result varies. One factor that affects the result is pore pressure.

Over the groundwater level fine grain soils have a negative pore pressure that contributes to the strength in the soil. But the compaction of the soil can result in a positive pore pressure. This positive pressure can affect the bearing capacity negative which indicates as a low value on the computer in the roller. One method for limit the problem is to let the ground rest so the pressure can neutralize. But this method can in some cases be very time consuming.

To inspect the finished soil a method called Static Plate Loading (SPL) alternate Lightweight Falling Deflectometer (LWD) is used. The Static Plate Loading test can be combined with CCC and is called Reduced Acceptans Controll. Both methods are approved by the Swedish Road Administration. Peab uses the later method because it reduces the amount of test points and is there for a faster method. Controlled areas are selected from the CCC-data map.

To see if the CCC actually finds areas with the lowest bearing capacity on clay-tills a test was performed. The test included different test methods and instruments such as named above. The results indicate that bad areas indicated by CCC are the same as with the SPL-method. But the worst area found with CCC did not match the SPL. If CCC and air pore levels are compared it also does not match completely. But the CCC has never been intended to be used for locating high air pore levels, but in these areas the bearing capacity might be low. The size of the testarea affects the results because a larger area had meant more testpoints and a higher statistic confidence.

Keywords: Stabilisation, Road construction, air void, Clay-tills, Compaction.

Förord

Arbetet har skrivits i samarbete med Peab och LTH. Ett stort tack till Joel Loven på Peab som hjälpte till med försöket och ordnade fram all utrustning som krävdes. Tack även till Nils Rydén (LTH/Peab) och Per Lindh (Peab) för handledning, feedback och tips.

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
1.3 Metodik	2
1.4 Avgränsningar	2
2 Användning av Yttäckande Packningskontroll (YPK)	3
2.1 YPK i praktiken	3
2.2 SwePave	3
3 Material- och packningsteori	4
3.1 Varför packning?	4
3.2 Jordens uppbyggnad	4
3.2.1 Kohesionskrafter	4
3.2.2 Luftporhalt	4
3.3 Optimal vattenkvot	5
3.4 Lermorän	6
3.4.1 Förekomst	6
3.5 Packningsmetoder	7
3.5.1 Statiskt tryck.....	7
3.5.2 Stöt	7
3.5.3 Vibrering	7
3.6 Problem vid packning	8
3.7 Markstabilisering	9
4 Packningskontroll	11
4.1 Utförande och resultatkontroll	11
4.2 Kontrollmetoder	11
4.2.1 Yttäckande Packningskontroll (YPK).....	11
4.2.1.1 Vad är det	11
4.2.1.2 Var används det.....	11
4.2.1.3 Utrustningen.....	11
4.2.1.4 Kompaktometervärde.....	11
4.2.1.5 YPK-mjukvaran	12
4.2.2 Densitetsmätare	12
4.2.3 Lätt fallvikt	12
4.2.3.1 Dynatest fallvikten.....	12
4.2.3.2 Zorn fallvikten.....	13
4.2.4 Tung fallvikt	13
4.2.5 Statisk plattbelastning.....	13
4.2.6 Seismik	13
4.2.7 Volymeter	13
4.2.8 Laboratorieförsök	13

4.2.8.1 Proctor.....	13
4.3 Statistisk Acceptanskontroll (SAK)	14
4.3.1 Metodik för packningskontroll med SAK	15
5 Metod och genomförande	16
5.1 Försöksuppställning	16
5.2 Frågeställningar.....	17
5.3 Fältmätning	18
5.4 Försöksbeskrivning	19
5.4.1 Ytan.....	19
5.4.2 Utrustning.....	20
5.4.3 Mätning	22
5.5 Analys av resultat.....	23
5.5.1 Förväntade resultat	23
5.5.2 Variationer i resultatet	24
5.6 Jämförelseanalys av fallvikt , YPK och luftporhalt.....	25
6 Resultat och slutsats	30
6.1 Resultat	30
6.2 Slutsats.....	31
7 Referenser	33
8 Bilaga A – YPK	1
YPK decimeterkarta.....	2
YPK decimeterkarta 3D	3
YPK – SÖDER till NORR (1-4)	4
YPK – ÖST till VÄST (A-F).....	5
YPK Diagram 1 (EF 1-4).....	6
YPK Diagram 2 (CD 1-4)	7
YPK Diagram 3 (AB 1-4)	8
YPK Diagram 4 (12 A-F)	9
YPK Diagram 5 (34 A-F)	10
BILAGA B – Troxler.....	10
BILAGA B – Troxler.....	11
BILAGA C – Statisk Plattbelastning	12
BILAGA D – Lätt fallvikt.....	20
BILAGA E – Jämförelsekarta för YPK och fallvikt.....	21
BILAGA F – Jämförelsedigram Luftporhalt, Evib, Evd	22

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Yttäckande packningskontroll (YPK) är en teknik att via välten bestämma den packade areans relativa bärighet. YPK används för att välja ut kontrollareans sämsta punkter med avseende på bärighet. I dessa punkter kan den absoluta bärigheten mätas med lätt fallvikt respektive statisk plattbelastning. Metoden har visat sig fungera väl på granulära jordar. Vid kohesiva (finkorniga) jordar tillkommer effekten av portryck. Vid packning byggs portryck upp i jorden vilket påverkar bärigheten negativt d.v.s. mätvärdet sjunker med ökat portryck. Då metoden mäter på den vibrerande trumman så byggs ett portryck upp även vid mätning. Detta portryck medför att efterföljande mätningar påverkas så länge portrycket består. YPK mäter jordens respons på packningsarbetet från vältrumman. Detta innebär i tvärlängd en medelvärdesbildning över trummans bredd (2 m) medan i välstens färdriktning är upplösningen ca 0,10 m. (Lindh 2008)

Vid ytstabilisering av lermoränterasser behövs en metod för att kontrollera packningen för att luftporhalten i materialet ska minimeras. Låg luftporhalt krävs för att det stabiliserade materialet ska bli beständigt över lång tid. Yttäckande Packningskontroll (YPK) kan användas för att få en överblick över det stabiliserade området. YPK visar bärigheten över den packade ytan grafiskt på en skärm. Med hjälp av detta väljs sämsta punkten ut för kontroll med Troxler (Isotopmätare). Med troxlern mäts torrdensitet, våtdensitet samt vattenkvot, vilka utvärderas för att beräkna materialets luftporhalt. Vid packningskontroll utan YPK används istället Statistisk Acceptanskontroll (SAK), vilket innebär åtta slumpmässigt valda punkter per 5000 m². SAK bygger på Vägverkets regelsamling ATB-Väg kapitel E. (Vägverket 2008)

På grund av portryck som byggs upp vid packning speglar resultatet från YPK inte alltid de sämsta punkterna beträffande luftporhalt. YPK registrerar bärighet, det vill säga hur bra underlaget svarar mot belastning i förhållande till underlagets deformation. Detta visar dock inte hur väl materialet är packat med hänsyn till beständigheten.

När sämsta punkten lokaliseras vad gäller bärighet från YPK behöver denna inte vara den sämsta punkten ur luftporhaltssynpunkt. Eftersom YPK registrerar bärighet visar den vid höga vattenhalter i materialet låg bärighet men höga vattenhalter resulterar i den bästa packningen med avseende på låga luftporhalter, vilket eftersträvas. Detta syns tydligt på en Proctorkurva, se figur 3.2.

Om kontrollen istället skulle utföras enligt SAK hade fler punkter kontrollerats och resultatet hade förmodligen gett en mer representativ bild av luftporhalten i mätytan. Dock tar fler punkter längre tid vilket var anledningen till att YPK började användas.

Vid höga portryck kan det ta mycket lång tid för jorden att återhämta sig, vilket krävs för att värden från YPK ska vara representativa för luftporhalten.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att utvärdera tillförlitligheten hos YPK för lermoränterasser jämfört med SAK. Och att eventuellt hitta förbättringar.

- Hur påverkar portrycket YPK-mätningen?
- Hur länge är rimligt att låta marken vila?
- Spelar t.ex. amplituden in på hur mycket portrycket byggs upp?
- Hur spelar vädret in, t.ex. mycket regn?

1.3 Metodik

Litteraturstudier och intervjuer används för att samla information om ämnet. I fält utförs mätningar med YPK, Troxler, statisk plattbelastning och lätt fallvikt på en testyta.

1.4 Avgränsningar

Endast lermoränterasser för ytstabilisering undersöks.

2 Användning av Yttäckande Packningskontroll (YPK)

2.1 YPK i praktiken

Peab använder YPK vid markstabilisering och vid SwePave-arbeten. SwePave förklaras längre ner på sidan.

Då det handlar om stora ytor är YPK en effektiv metod för att lokalisera sämre områden där packningen kontrolleras med densitetsmätare. Beroende på resultatet packas eventuellt området fler gånger. YPK är en av vägverket godkänd provningsmetod tillsammans med reducerad acceptanskontroll.

2.2 SwePave

Sweepave är ett koncept för vägbyggnad. Det innebär att man har en strikt koppling mellan design, utförande, kontroll och funktionskrav.

Vid stabilisering tas ett recept fram i laboratorium för just de förutsättningar som finns insitu i syfte att uppfylla de krav som ställts från beställaren. Vid utförandet kontrolleras kontinuerligt att kraven följs. Detta görs bl.a. med en vält utrustad med YPK.

Till skillnad från traditionell vägbyggnad schaktar man inte ur befintliga massor och fyller upp med nya utan i största möjliga mån används befintliga massor. Stabilisering kan förekomma men är inget krav. Detta är bättre ur miljö- och resurssynpunkt.

Bindemedel som används är släckt och osläckt kalk, cement och merit. Merit är mald masugnsslagg som visat sig passa bra som stabiliseringsmedel.

3 Material- och packningsteori

3.1 Varför packning?

Hög och jämn densitet gör att en väggkropp får en lång beständighet. Detta medför att packningsarbetet är en mycket viktigt. Olika material har olika bärighet och kan hantera yttre krafter olika. Vid packning omstruktureras kornen så att de ligger tätare. Kontaktspänningen mellan kornen ökar också. (Forsblad 2000, Lindh 2008)

3.2 Jordens uppbyggnad

Jord består av tre element, ett så kallat trefasmaterial; fast material, luft och ev. vatten. Olika fördelning av dessa ger olika egenskaper och packningsmöjligheter. (Sällfors 2001)

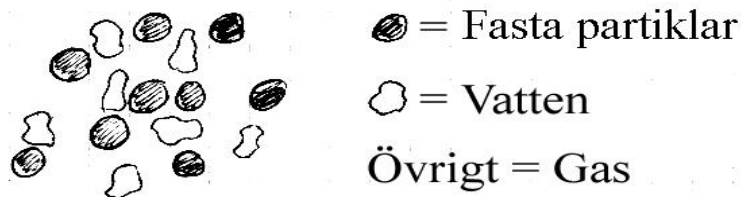
3.2.1 Kohesionskrafter

Över grundvattenytan är de finkorniga jordarna inte vattenmättade vilket innebär ett visst negativt portryck vilket bidrar till en del av hållfastheten i leran. Vid packning av ett tätt material hinner inte portrycksökningen försvinna tillräckligt snabbt varför positiva portryck byggs upp. Vid höga positiva portryck erhålls ett flyttillstånd i jorden då denna inte kan ta mer last.

Vid packning av mycket torra massor kan s.k. torrpackning uppstå. Torrpackad jord har hög luftporhalt och låg vattenmättnadsgrad, detta ger större vattenuppsugnad, och större svällning. Resultatet blir ett lägre portryck. (Rydén 2008, Lindh 2008, Hansbo 1990)

3.2.2 Luftporhalt

Vid packningsarbete eftersträvas låg luftporhalt då detta påverkar beständigheten. Ju kompaktare och homogenera materialet är desto högre beständighet. För att nå en låg luftporhalt bör all packning ske på den ”våta sidan”, se figur 3.2. Alltså bör materialet vara våtare än den optimala vattenkvoten. Detta för att det är svårt att korrigera upp vattenhalten för packade material. (Lindh 2008)



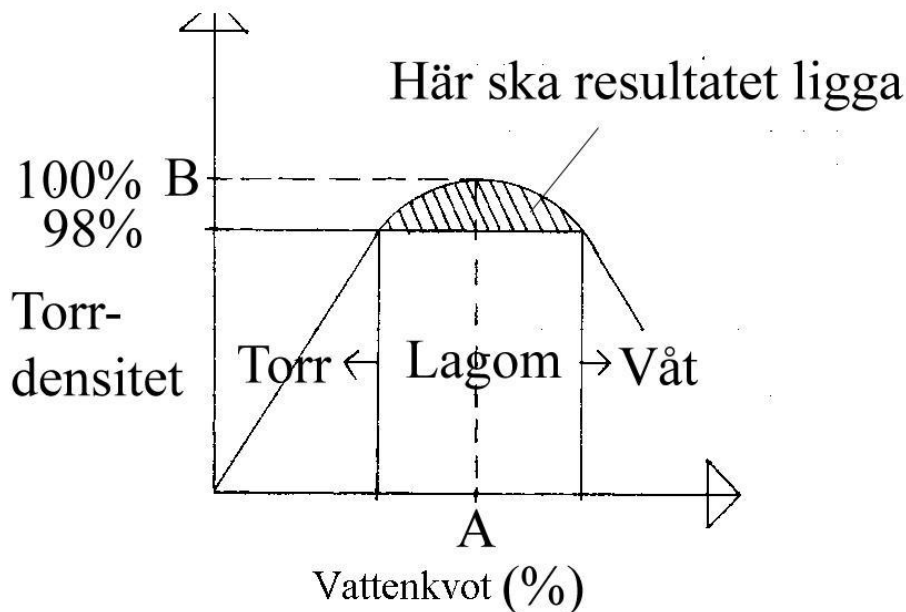
Figur 3.1 Schematisk bild över jordens uppbyggnad.

3.3 Optimal vattenkvot

Jord består av tre delar, luft, vatten och fastmaterial. Vid packning eftersträvas att porvolymen ska minimeras. För att kunna göra detta krävs att materialförhållandena är rätt. Om det t.ex. finns för lite vatten blir jorden svårpackad på grund av att den är för hård (vid finkorniga material). Om istället jorden innehåller för mycket vatten kan ett så kallat flyttillstånd uppkomma och jordens bärighet blir obefintlig. Jord packas generellt bäst vid den optimala vattenkvoten. Dock kan det förkoma jordar där bäst resultat nås utanför området för optimal vattenkvot. Vattenkvoten bör inte avvika för mycket från den optimala då det är svårt att justera detta i lera (Forsblad 2000, Hansbo 1990).

För att man ska undvika dessa tillstånd och alltid hamna i närheten av den optimala vattenkvoten görs instampningsförsök, företrädesvis Proctor.

Maximal densitet (B) vid optimal fukthalt (A)



Figur 3.2 Proctorkurva

3.4 Lermorän

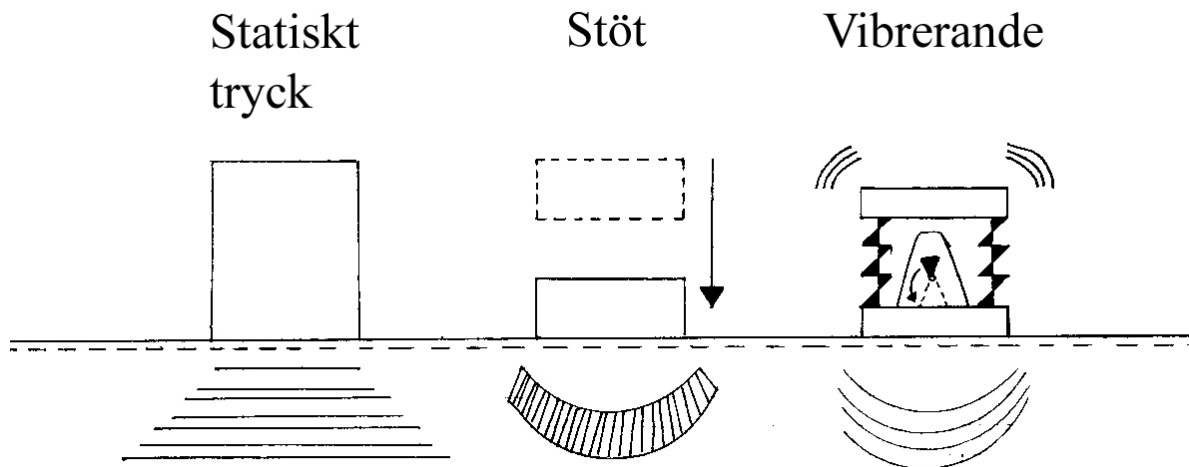
Morän är en jordart som skapats av att inlandsisen nött ner berg och tidigare jordavlagringar. En morän kan innehålla alla kornstorlekar, från lera till block. Morän är Sveriges vanligaste jordart och i Skåne är den tillräckligt finkornig för att den ska gå och användas till åkermark. För att det ska kallas morän ska det vara nedkrossat på eller inuti isen vid platsen för isens avsmältning. Det finns olika typer av morän, lermorän är bara en av dem. Indelningen följer samma indelning som andra kornmaterial. Det vill säga blockmorän, stenmorän, grusmorän, sandmorän, siltmorän och lermorän. Den sistnämnda är den finkornigaste av moränsorterna. Den har skapats där tillgången på finkornigt berg finns, bergarter som exempelvis kalkberg och märelskiffer. (Larsson 2000, SGU 2008)

3.4.1 Förekomst

Förekomsten av lermorän beror på bergarten. Eftersom Gotland, Öland, havsremsan runt Blekinge, Skåne och en bit in i Danmark har en kalkrik berggrund finns således mycket av lermoränen här. I stort sett hela Gotland, Öland och halva Skåne är täckt av lermorän. Detta beror på att isen rörde sig i ett bälte från Baltikum till Danmark. Även i Jämtland, Dalarna och Närke förekommer lermorän. (Larsson 2000)

3.5 Packningsmetoder

Det finns tre metoder att packa ett material på; genom statiskt tryck, stöt och vibrering.



Figur 3.4 Packningsmetoder

3.5.1 Statiskt tryck

Statiskt tryck innebär att en last enbart med sin tyngd packar materialet, exempel på detta är slätvältar och gummihjulsvältar. Packningens påverkan styrs av valsdiameter och i förekommande fall även lufttryck. Ju större vals desto lägre marktryck och för gummihjulen gäller att lägre lufttryck i däcken ger lägre marktryck då den anliggande arean ökar.

3.5.2 Stöt

Fallviktspackning bygger på stötpackning. Metoden har använts varierande genom tiderna, bl.a. i Tyskland på 30-talet och i Frankrike på 70-talet. I dessa fall handlar det om att en lyftkran lyfter en vikt till en förutbestämd höjd och släpper. Stöten skapar en tryckvåg genom materialet som omfördelar och delvis krossar kornen. Det effektiva packningsdjupet kan beräknas enligt formel [3.1]. Det större värdet används för sand och grus medan det mindre till grövre material. (Forssblad 2000)

Formel [3.1]: $d = 0,4 \text{ à } 0,8 \cdot \sqrt{m \cdot H}$ (m = viktens massa, ton. H=fallhöjd, m)
(Forssblad 2000)

Fallviktspackning kräver bra planering av packningsmönstret för att packningsresultatet ska bli jämnt. Även att packa i lager med återfyllnad av kratrarna är att föredra. (Hansbo 1990)

3.5.3 Vibrering

Vibrationspackning är det vanligaste sättet att packa jordmaterial på. Det finns två varianter av vibrationsvältar, excenter- och oscillationsvältar. Den

förstnämnda har en excenter som roterar i centrum av valsens, vilket skapar vibrationerna. För oscillationsvälten finns två mindre excentrar monterade på en balansaxel med ett avstånd mellan sig. Dessa två skapar horisontella vibrationskrafter och eftersom de sitter monterade på balansaxel blir vibrationerna i ramen mindre, komforten ökar därför nämnvärt i hytten. Nackdelen är en sämre djupverkan i packningen.

Frekvensen beror på hur fort excentern roterar och hur stor amplituden blir bestäms av storleken på excentern. (Forsblad 2000)

Vid packning genom vibrering finns fyra parametrar som påverkar resultatet;

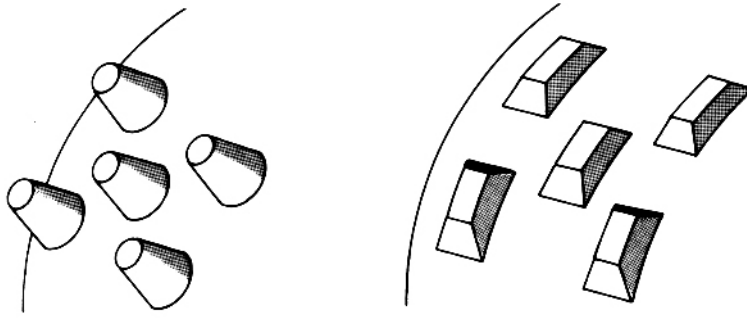
1. Statisk linjelast
2. Frekvens och amplitud
3. Antal vibrerande valsar
4. Välthastighet

Vibrering innebär att materialet sätts i rörelse och de statiska krafterna som håller materialet samman, såsom friktionskrafter, upphör att verka. Partiklarna och kornen omfördelar sig till ett tätare tillstånd. Detta gäller till dess att materialet nått max packningsgräns. (Forsblad 2000)

3.6 Problem vid packning

I finkorniga material byggs portryck upp vid allt för täta vältöverfarter. För att undvika detta bör man låta marken vila mellan överfarterna. Detta för att portrycket, som beror på överskottsvatten, ska utjämnas.

För finkorniga material rekommenderas statiska vältar. Vibrationsvältar kan bygga upp portryck i dessa material. Men enligt Forsblad går vibrationsvältar utmärkt att använda på lerjordar förutsatt att de har en hög statisk vikt. Även padfots- eller fårfotsvält (se bild nedan) är att rekommendera då knådningen har positiv effekt på packningen. Forsblad menar att det finns en utspridd tro att vibrationsvältar inte går att använda på lera. Anledningen är portrycket som byggs upp. Vid höga tryck kan cellen kollapsa och skapa ett flyttillstånd i jorden vilket leder till en uppluckring av jorden, alltså att packningsgraden minskar. (Hansbo 1990, Forsblad 2000, Lindh 2008)



Figur 3.5 Fårfots- respektive padfotsvals (Forssblad 2000)

3.7 Markstabilisering

Stabilisering kan göras av både finkorniga och grovkorniga material. Metoden fungerar på så vis att man fräser ner bindemedel i marken t.ex. kalk. När detta sedan reagerar med porvattnet startas en modifiering av jorden vilket ökar jordens förmåga att ta emot packningsarbete. Därefter uppstår cementliknande bindningar mellan kornen. Bindemedel som används är t.ex. släckt eller osläckt kalk, merit eller cement.

Bindemedlet reagerar med vattnet i materialet och härdar. Resultatet blir bindningar mellan kornen. Dessa gör att materialet klarar mycket högre belastningar än förut. Olika bindemedel passar till olika material. Kalk används till leror medan cement används till grovkornigare material.

Efter inblandningen av bindemedlet används en vibrerande vält med YPK för att packa jorden. Vad man ser på YPK är modifieringsprocessen och inte stabiliseringsprocessen. Cement har en snabb härdningsprocess medan kalk och merit har en långsammare. Fördelen med en långsammare är att den har ”läkande effekter”. Om man till exempel efter stabilisering behöver göra en kabeldragning och gräver upp ett område och fyller igen. Bindemedlet fortsätter då och verka och kommer att läka ihop den uppgrävda ytan.

Markstabilisering kan vara ett bra alternativ ur miljösynpunkt vid vägbyggnad eftersom mindre schakt- och transportarbeten behöver utföras. Istället för att schakta bort befintliga massor och bygga upp en väg på traditionellt sätt stabiliseras befintliga massor och en tunnare väggropp kan användas.

Markstabilisering är en gammal metod. De senaste tio åren har de hänt mycket kring utrustningen för stabilisering, speciellt i Australien som anses vara ledande inom markstabilisering. Det finns nu flera olika typer av fräsar, både enkel- och flerrotors. Det har även kommit fräsar där bindemedlet blandas in i

fräsen. Detta för att minimera dammet. Dammet är ofta ett stort problem då kalk och merit har väldigt låg densitet. (Lindh 2008, Lovén 2008)

4 Packningskontroll

4.1 Utförande och resultatkontroll

Utförandekontroll innebär att det finns föreskrivet någonstans hur packningsarbetet ska utföras. Exempel på detta är hur många överfarter och vilka lagertjocklekar som bör användas. Genom att arbetet utförs enligt dessa normer bör resultatet säkras med viss marginal.

Vid enbart resultatkontroll ges utföraren friare händer över arbetet, kraven sätts på resultatet istället för på utförandet. Men packningen utförs ändå metodiskt och i bestämda lager då vältarna har en begränsad djupverkan. Kontroll utförs då per lager. Beroende på vilka material som packas används kontrollerna varierande, men vanligast är en blandning mellan de två (Malmgren 1983).

Regelverket som följs är ATB Väg. Detta är Vägverkets allmänna krav vid vägbyggnad.

4.2 Kontrollmetoder

4.2.1 Yttäckande Packningskontroll (YPK)

4.2.1.1 Vad är det

Yttäckande packningskontroll är ett system för kontinuerlig uppföljning av packningen, detta spar tid och pengar då man kontrollerar ytan samtidigt som man packar den. Även antalet densitetsprov minimeras. Tillsammans med reducerad acceptanskontroll är detta en av vägverket godkänd kontrollmetod (Vägverket 1994).

4.2.1.2 Var används det

Metoden har visat sig vara lämplig på sand, grus, sprängsten och andra grovkorniga material. Bärigheten stämmer bra med verkligheten i dessa material (Forssblad 2000).

Metoden används av PEAB vid markstabiliseringsjobb där en överblick över stabiliserade ytan är att föredra. (Lovén 2008)

4.2.1.3 Utrustningen

Peab använder en 15 tons Bomagvält som har modifierats med GPS för att passa ändamålet. GPS-mottagaren skickar koordinaterna till en dator inuti välten. Detta gör att man kan se packningsvärdet i realtid. Bomags vältvärde kallas Evib, men varje tillverkare har sitt eget värde.

4.2.1.4 Kompaktometervärde

En kompaktometer är en vältmonterad utrustning som registrerar kvoten mellan grundtonen och den första övertonen för valsens vertikaltvibration.

Kvoten visar hur stort packningsmotståndet är vilket säger hur stor packningseffekten är. Detta värde kallas generellt Compaction Meter Value (CMV-värde). Spridningen på dessa värden är ofta stor och tillförlitligheten är låg. Endast på ett fåtal jordartstyper är värdet tillförlitligt. (Lovén 2008, Rydén 2008, Hansbo 1990)

4.2.1.5 YPK-mjukvaran

Programmet som används är utvecklat av Bomag och anpassat för deras vältar. Insamlad data går även att överföra till stationär dator via USB-minne för vidare analys. I programmet kan hela ytan plottas upp och olika gränsnivåer kan ställas in.

4.2.2 Densitetsmätare

Densitetsmätare brukar i vardagligt språk kallas Troxler (se bild 4.1), som även är namnet på företaget som tillverkar dessa. Troxler är en isotopmätare för densitet- och vattenkvotsbestämning. Troxler består av en stav som förs ner i materialet och strålar upp mot huvudenheten, detta på grund av att spetsen på staven består av en radioaktiv isotop som ger ifrån sig strålning. Huvudenheten registrerar hur mycket strålning som når fram till huvudenheten och en dator beräknar densiteten utifrån detta (Forsblad, 2000).



Figur 4.1: Troxler

4.2.3 Lätt fallvikt

Den lätta fallvikten, Light Weight Deflectometer (LWD), är vad den heter. Den fungerar på så sätt att en vikt faller längs en stång ner på en platta. I plattan sitter en givare som registrerar deflektionen i ytan. Från detta beräknas ett E_{v2} -värde. Flera parametrar spelar in på värdet, så som vikten på fallvikten och diametern på plattan. Fallhöjden är mindre viktig då försök visar att olika höjd inte ger någon märkbar skillnad i resultat så länge kraften mäts upp. (Lin, Liao, Lin 2006).

Fördelen med LWD är att det går snabbt att göra en mätning. Detta gör att man snabbt kan få en överblick över en yta. Nackdelen är att den är känslig för torrskorpebildningar på ytan. Om det ligger en torr skorpa över ett mjukt lermaterial kan LWD ge höga värden utan att det finns någon bärighet i ytan. Detta på grund av dess låga vikt som inte går genom ytan.

4.2.3.1 Dynatest fallvikten

Handenheten för Dynatest fallvikten är en vanlig bluetoothkompatibel bärbar dator med ett windowsbaserat program. Här registreras både deflektion och E_{vd} samt ett grafiskt diagram över deflektionen. Med ett tillägsprogram kan

mer omfattande data extraheras ur filerna, så som exempelvis tid, energi och kraft

4.2.3.2 Zorn fallvikten

Detta är den enklare modellen av de två och brukar kallas Tysk lätt fallvikt. Endast ett Evd värde och nedböjningen registreras.

4.2.4 Tung fallvikt

Den tunga fallvikten är en större variant av den lätta. Principen är den samma men här sitter hela fallvikten monterad på ett personbilssläp.

4.2.5 Statisk plattbelastning

Den statiska plattbelastningen ger både Ev1-värde och Ev2-värde. Ev1 är deformationsmodulen (plasticitetsmodulen) och Ev2 är elasticitetsmodulen. Försöket går ut på att en platta pressas mot ytan med hjälp av en kolv och ett mothåll. Vid den stegvisa pålastningen mäts plattans nedsjunkning i jorden. Detta görs i två steg med en delvis avlastning i mitten. Under den första pålastningen erhålls Ev1-värdet och under den andra pålastningen erhålls Ev2-värdet. (Vägverket 1993, Forssblad 2000)

4.2.6 Seismik

Bland metoder som inte förstör testytan finns seismisk mätning. Metoden innebär att en accelerometer eller geofon sätts mot marken och att man sedan skickar ut ljudvågor på bestämda avstånd från denna. Ljudhastigheten beräknas med datorprogram och hållfastheten i materialet kan uppskattas. (Rydén 2008).

Metoden används vid SwePave-arbeten för att kontrollera hållfastheten i det stabiliserade lagret.

4.2.7 Volymeter

Volymetern mäter volymen mot en förutbestämd densitet. Det finns både sand- och vattenvolymeter. Användes mycket förr i tiden men har blivit ersatt av Troxler densitetsmätare som endast tar en tiondel av tiden det tog att använda volymetern (Hansbo 1990).

4.2.8 Laboratorieförsök

4.2.8.1 Proctor

Proctor är ett instampningsförsök för att mäta vid vilken vattenkvot den maximala torrdensiteten erhålls. Testet går ut på att en tyngd faller upprepade gånger i en cylinder med ett material som man vill testa. Materialet packas i olika lager med olika tyngd och fallhöjd.

För standard proctor gäller följande;

- 2,5 kg tyngd
- 305 mm fallhöjd

- 25 slag per lager
- 3 lager.

För modifierad proctor gäller följande:

- 4,54 kg tyngd
- 457 mm fallhöjd
- 56 slag per lager
- 5 lager.

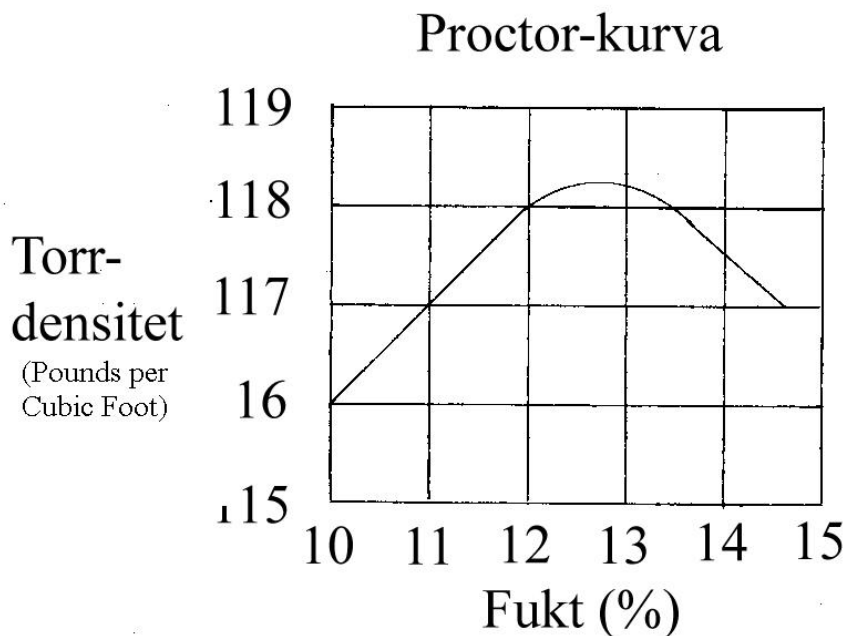
När man lägger på energi pressas luften och delar av vattnet ur porerna.

Vattnet fungerar som ett smörjmedel som tillåter att kornen omfördelar sig till ett tätare tillstånd. Materialegenskaper som ändras är;

- Ökad volym vikt
- Minskad permeabilitet
- Ökad bärighet

(Kavadas 2005)

Resultatet från Proctorförsöket ger en proctorkurva.



Figur 4.2 Proctorkurva

4.3 Statistisk Acceptansk kontroll (SAK)

Statistisk Acceptansk kontroll är en metod enligt ATB-väg Kapitel E VVMB 908

Metoden bygger på fem stycken principer;

1. Avgränsning, ett kontrollobjekt väljs ut.

2. Identifiera mätbara egenskaper, t.ex. Bärighet eller Nivå som avviker från referensvärden.
3. Kontrollpunkter väljs ut slumpmässigt (representativa för hela området)
4. Genomför stickproven. Beräkna variabler. (medelvärde, standardavvikelse)
5. Jämför framräknade värden med acceptanskriterier (ATB VÄG, Intervallkriterier)
6. Om kriterievariabelns värde ligger i tillåtet intervall godkänns objektet, annars inte.

För att stickproven ska vara tillförlitliga krävs det att de är representativa för kontrollobjektet. Slumpmässigheten spelar stor betydelse för resultatet. Om total slumpmässighet har tillämpats är sannolikheten störst att värdena är representativa. Då har alltså alla punkter lika stor chans att väljas ut för stickprov. I vissa fall kan man välja punkter utan hjälp av slumpmässighet, dock kan inte slumpmässighet användas för tolkning av resultatet då. (Vägverket 2008, Malmgren 1983)

4.3.1 Metodik för packningskontroll med SAK

För att svaret ska kunna godkännas måste en kontroll av utförandet godkännas.

- Gick mätningen korrekt till?
- Var antalet stickprov tillräckliga?
- Var proven slumpmässiga?

För att svara på det får man kontrollera medelvärdet och standardavvikelsen. Finns några systematiska eller slumpmässiga fel? Antalet stickprov bör inte innefatta hela populationen då detta är orimligt och ytterst tidskrävande.

Metoden bygger på att man ska kunna minimera antalet stickprov med bibehållen statistisk säkerhet i resultatet. Därför är det viktigt att stickproven gått rätt till och är slumpmässiga.

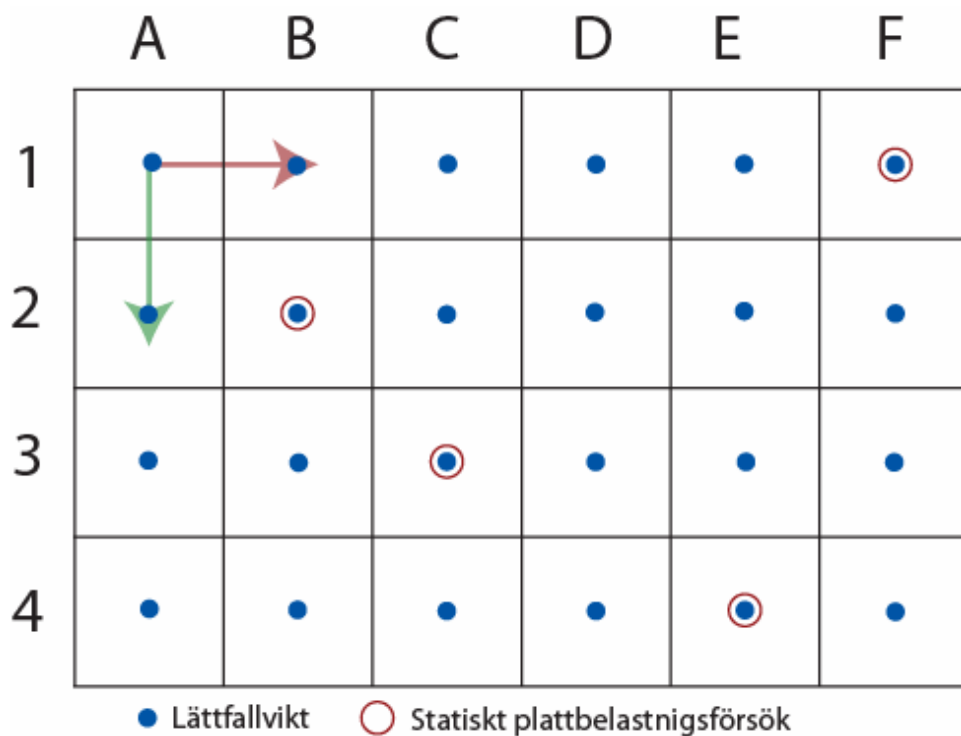
5 Metod och genomförande

5.1 Försöksuppställning

Försöket utförs på ett kontrollobjekt där ett mindre område väljs ut för mätning med YPK och SAK. Även fallvikt och densitetsmätning har utförts. Testytan består av 24 kvadratmeter uppdelat i 6 gånger 4 meter. Se bild på nästa sida.

Preliminärt försöksupplägg

1. Mätning med fallvikt i varje cells centrumpunkt.
2. Mätning med statisk plattbelastning i några celler.
3. YPK i en riktning
4. Förnyad mätning med lätt fallvikt direkt efter YPK
5. Viloperiod minst 24h
6. Lätt fallvikt igen.
7. YPK vinkelrätt tidigare YPK
8. Troxler i alla punkter



Figur 5.1 Schematisk bild över försöksupplägg (Per Lindh).

5.2 Frågeställningar

Är YPK en lämplig metod för att kontrollera packning på lermoränterass?
Alternativet är SAK.

Det som talar emot är att portryck kan byggas upp vilket påverkar mätningarna negativt. Resultatet kan vara missvisande då mätningen sker på trumman. Portrycket byggs upp medan man kör och resultatet blir sämre ju fler gånger man kör. (Lindh 2008)

Påverkas resultatet av att trumman mäter ett medelvärde över hela trumbredden (2 m) men med hög upplösning (0,1 m) i färdriktningen?

Om mätningen sker längs med och tvärs över en yta borde problemet elimineras i teorin. Dock sker detta sällan. (Lindh 2008)

Kan en viloperiod göra att resultaten blir tillförlitligare?

Under en viloperiod hinner jorden återhämta sig och eventuellt portryck hinner neutraliseras. Den registrerade bärigheten blir därför tillförlitligare.

Hittar SAK den sämsta punkten?

Med SAK testas åtta stycken slumpmässigt valda punkter per 5000 kvm. Det finns en sannolikhet att ett dåligt område missas.

Bör YPK användas endast för att hitta ”sämsta punkten”?

YPK skapar en överblick över området. Den insamlade datan kan analyseras och ge information om exempelvis olika variationer i marken eller stråk med dålig bärighet. Alltså är användbarheten för YPK mer än bara bärighetsmätning.

Alla mätvärden utom resultaten från plattbelastningsförsöket kan göras om till diagramkartor. På så sätt blir det enkelt att jämföra olika mätningar.

5.3 Fältmätning

Följande arbetsbeskrivning utarbetades innan försöket gjordes.

Kontroll

1. Kontrollera ytan. Färdigpackad?
2. Mät upp ytan. Stämmer måtten?
3. Rita ut varje kvadrat.
- 3.5 Markera ut i vilka punkter de olika testerna skall utföras.
4. Kontrollera utrustningen. Finns all utrustning?
5. Kontrollera välten, funkar och plottar som den skall?
- 5.5 Kontrollera datorn i välten, track-mode inställt?
6. Kontrollera fallvikten
7. Kontrollera plattbelastningen, finns motvikt?
8. Kontrollera Troxlern
9. All utrustning ok, check.
10. Börja mät.

Noteringar

1. Vältningen ska endast ske på ett håll. Alltså från A-F och från 1-4.
2. Välten ska vara inställd på "Track-mode"

Mätning

1. Mätning med lätt fallvikt i varje centrumpunkt.
2. Mätning med statisk plattbelastning i cell F1, B2, C3 och E4.
3. YPK i längdled.
4. Förnyad mätning med lätt fallvikt direkt efter YPK.
5. Viloperiod (minst 24h).
6. Förnyade mätningar med lätt fallvikt.
7. YPK i tvärled.
8. Troxlermätningar i varje centrumpunkt.

5.4 Försöksbeskrivning

5.4.1 Ytan

Testytans area är 24 kvadratmeter fördelat över 6 gånger 4 meter. Den är belägen vid Bronsgjutarevägen i Malmö, inne på maskinuthyraren Cramos område. Ytan är en del av en utbyggnad som är i startskedet. Underlaget är en packad lermoränterass.



Figur 5.2 Grovt schematisk bild över utbyggnadsytan (yttre ramen) och testytan (inre ramen).

Under natten till första mätdagen hade det regnat på platsen. Då lermorän är känsligt för vatten hade en lervälling skapats på den översta decimetern. För att göra mätningar möjligt på ytan behövdes det översta lagret skrapas bort. Detta utfördes med schaktbladet hos en minigrävmaskin.



Figur 5.3 Bortskrapning av lervälling med minigrävmaskin.

Efter att ytan rensats från lervälling slätvältades ytan för att sedan mäta upp ytan och de 24 kvadratmetrarna sprayades därefter ut i ett rutnät med röd färg.

5.4.2 Utrustning

Fallvikt

Dynatests fallvikt användes vid försöket.



Figur 5.4 Dynatest lätt fallvikt (vänster) och dator med bluetooth (höger)

YPK



Figur 5.5 Bomag 15-tons GPS-vält.

Statisk Plattbelastning



Figur 5.6 Bilden visar ett statiskt plattbelastningsförsök. Bilden är tagen vid ett annat tillfälle.

Troxler



Figur 5.7 Bilden visar en troxlermätning.

5.4.3 Mätning

Mätningarna utfördes 22/10 - 24/10 2008 enligt följande:

22/10

Förberedning av ytan

Mätning med fallvikt, plattbelastning och YPK.

23/10

Mätning med fallvikt och YPK

24/10

Mätning med densitetsmätare

Lätt fallvikt

Vikten var 15 kg och höjdställningen var 63,5 cm (25 tum).
3 stycken värden togs i varje punkt, totalt 72 per mätning.

Problem:

Mätning 1 - nr 16 och 65 förkastas

Mätning 2 – nr 52 förkastas

Mätning 3 - nr 40 och nr 59 förkastas, 60-62 är tveksamma då underlaget inte var jämnt

Statisk plattbelastning

Punkt 2 är tveksam. Punkten resulterade i orimligt höga Ev2 värden. Förmodligen beror dessa på problem vid avlastningsmomentet.

Yttäckande Packningskontroll

En startgräns skapades för mätområdet, vibrationen startades innan men mätningen registrerades inte förrän välten passerat gränsen. Detta för att det tar en kort stund för att vibrationen ska komma upp i rätt frekvens. Välten mätte även bara vid körning framåt, vilket förhindrade att mätningen skulle bli fel.

Vältamplitudinställning 3 (1,2 mm), frekvens 27 Hz
Vältningen kördes enligt följande:
EF 1-4, CD 1-4, AB 1-4
12 A-F, 34 A-F

Densitetsmätning, Troxler

På grund av instrumentproblem utfördes densitetsmätningarna med Troxlern dag 3

Genomföra testet (Är YPK en lämplig metod för kontroll av lermoränterasser)

5.5 Analys av resultat

5.5.1 Förväntade resultat

Efter att studerat ytan okulärt och provat att rulla över med välten bedömdes det att ytan har höga densiteter med hög vattenkvot. Detta stämde överens med resultatet från densitetsmätningen. Torrdensiteter runt 2000-2100 kg/m³ och våtdensitet runt 2250-2300 kg/m³ får anses som mycket bra.

Eftersom det hade regnat strax innan fanns ingen torrskorpa som kunde påverka resultaten negativt. Den lätta fallviktens resultat ansågs därför bli tillförlitliga.

Plattbelastningen är mindre känslig för ytan och resultaten är svåra att bedöma på förhand.

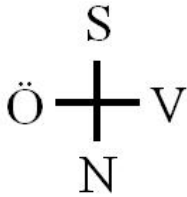
YPK värdena förväntades bli höga. Förarbetet på platsen var bra och packningen var utförd enligt föreskriven packningsstandard.

5.5.2 Variationer i resultatet

Problem som upptäcktes vid analys av data för fallvikten är att den registrerade pulsen för några värden har två kurvtoppar. Enligt Rydén är detta ett känt fenomen som beror på numeriska problem vid integration från uppmätt acceleration till beräknad deflektion.

Genom att jämföra mätvärdena överlappande borde resultaten visa på samma variationer och spridning av värdena för alla testinstrument.

5.6 Jämförelseanalys av fallvikt , YPK och luftporhalt.

34	52	49	Fallvikt, mätning 1	
40	65	79		
13	24	42	YPK, mätning 1	
13	17	32		
36	24	58	Fallvikt, mätning 2	
37	45	29		
26	50	68	Fallvikt, mätning 3	
47	33	27		
36	27	40	YPK, mätning 2	
19	20	41		

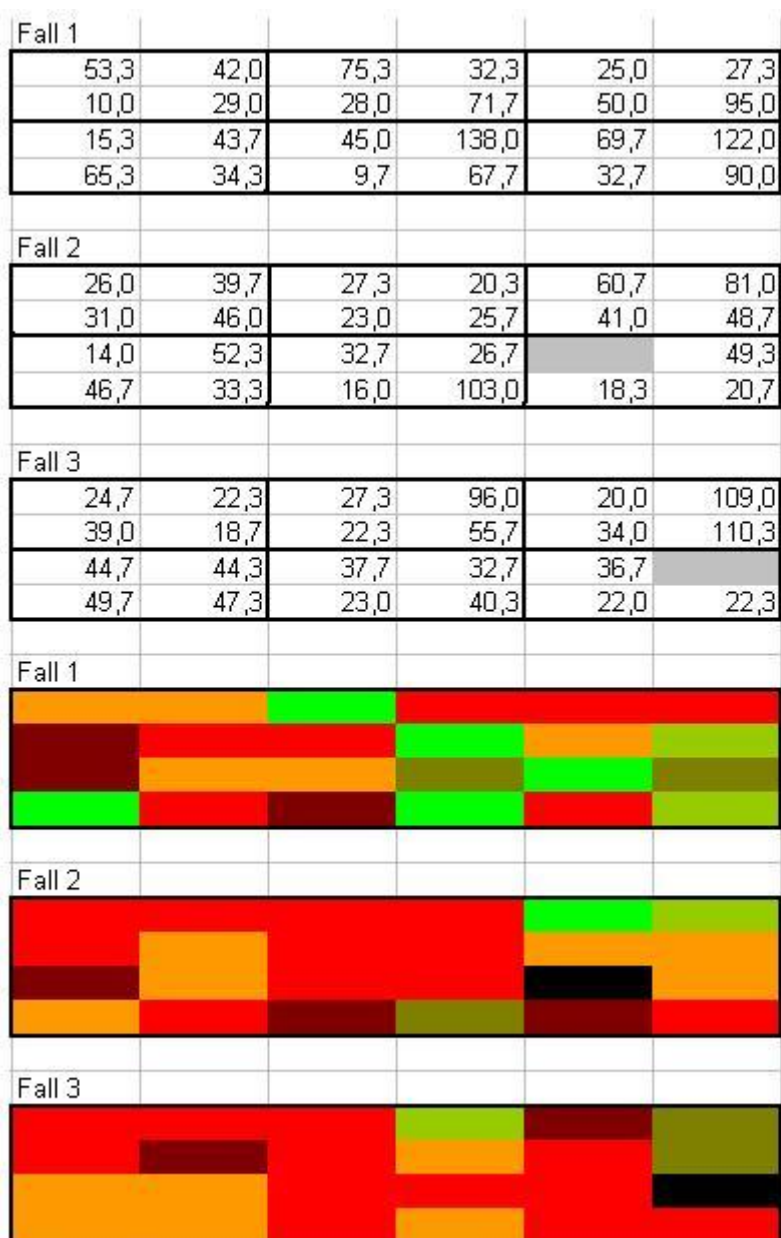
Figur 5.8 Fallvikt och YPK-moduler (MPa)

Matrisen visar värdena från fallvikten och YPK. Området har gjorts om till 2 * 2 metersmatris. Ett medelvärde har skapats för varje cell utifrån 4 värden. Tidsordningen är uppifrån och nedåt. Två extremvärden över 250 MPa har exkluderats ur medelvärdesberäkningen, se figur 5.9. I dessa fall bygger medelvärdena endast på 3 värden.

Vad man kan se ur värdena är att YPK-värdena inte skiljer nämnvärt från första till andra överfarten. Dock kan man se en ökning på 5 av 6 värden.

Fallviktvärdena skiljer mer men är ändå förhållandevis jämna. Från första till andra fallviktsmätningen sjunker värdena något. Vad detta beror på är svårt att säga då marken från början var blöt men torkade upp efterhand vilket borde ha gett högre värden istället för lägre, portryck kan vara en anledning. På den tredje fallviktsmätningen varierar värdena, hälften av värden ökar medan andra hälften minskar.

Mellan andra och tredje fallvikten finns en viloperiod på 24 timmar. Detta för att eventuellt portryck ska lägga sig. Men om ett portryck hade byggts upp efter den första YPK-överfarten borde fallviktsmätning nummer 2 visa på lägre värden än fallviktsmätning nummer 3, detta eftersom viloperioden mellan den andra och tredje mätningen bör ha utjämnat eventuellt portryck. Endast hälften av värdena är högre för fallviktsmätning 3 vilket inte är tillräckligt för att påvisa att ett portryck har funnits, eller att portrycket ska ha påverkat mätningen.



Figur 5.9 Indata fallviktsvärden

Rådatan har kontrollerats för mätfel. Det som kontrollerades var deflektion mot offset i instrumentet. De extrema värdena visar inga fel, deflektionen är hela tiden större än offset vilket är korrekt. (Rydén 2008)

Standardavvikelse fallvikt (Evd)

5,0	15,6	9,5
5,1	16,1	29,1

Tabell 5.10

Standardavvikelsen är beräknad på värdena från fallvikten. Dock endast tre värden som varje standardavvikelse är baserad på.

Som man kan se är standardavvikelsen stor. En stor standardavvikelse tyder på en stor spridning av värdena. I dessa sammanhang kan värdena variera mycket och en till synes kaotisk spridning av värdena kan förekomma (Rydén 2008).

Luftporhalten beräknades enligt ekvation 5.11. Även här delades området in i en 2*2 metersmatris med samma orientering som föregående matriser. Resultatet redovisas i tabell 5.12.

$$\text{Luftporhalten} = n \cdot \left(\frac{1-S}{100} \right) \quad n = \text{porositet} \quad S = \text{vattenmättnadshalten}$$

Ekvation 5.11

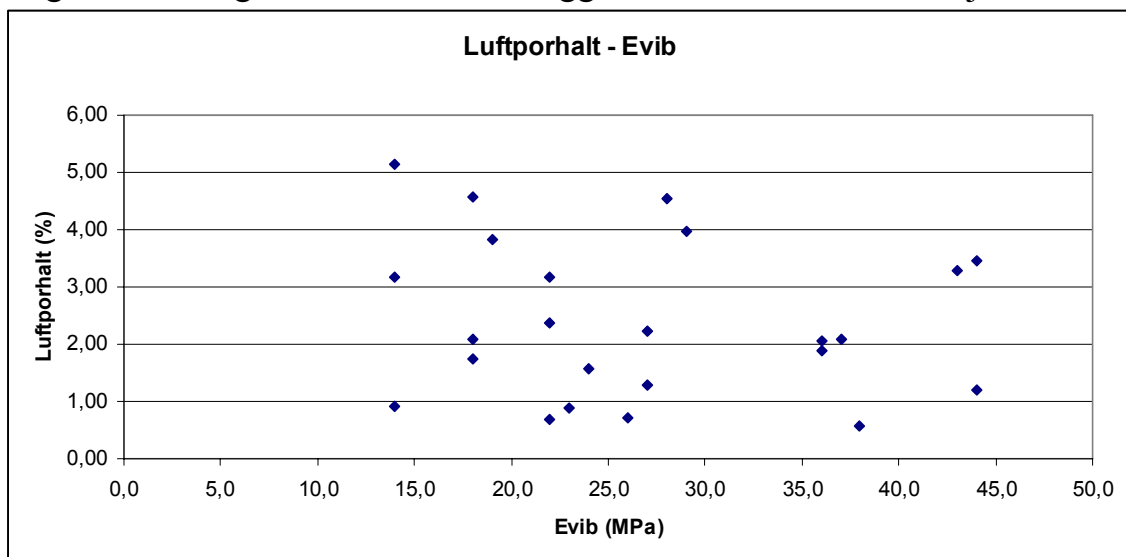
Luftporhalt (%)

1,45	2,32	1,28
2,83	0,52	2,47

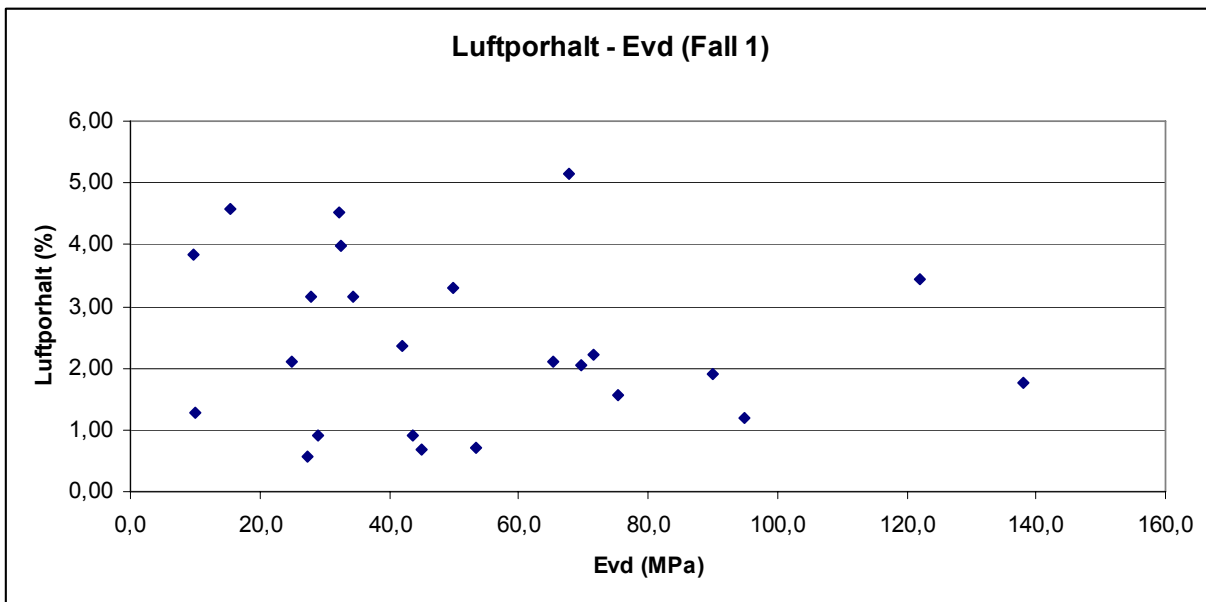
Tabell 5.12

Luftporhalterna för de 6 medelvärdena är mycket låga. Vanligtvis ska luftporhalten ligga under 5% för att få en lång beständighet i ett stabiliserat material. (Lovén 2008).

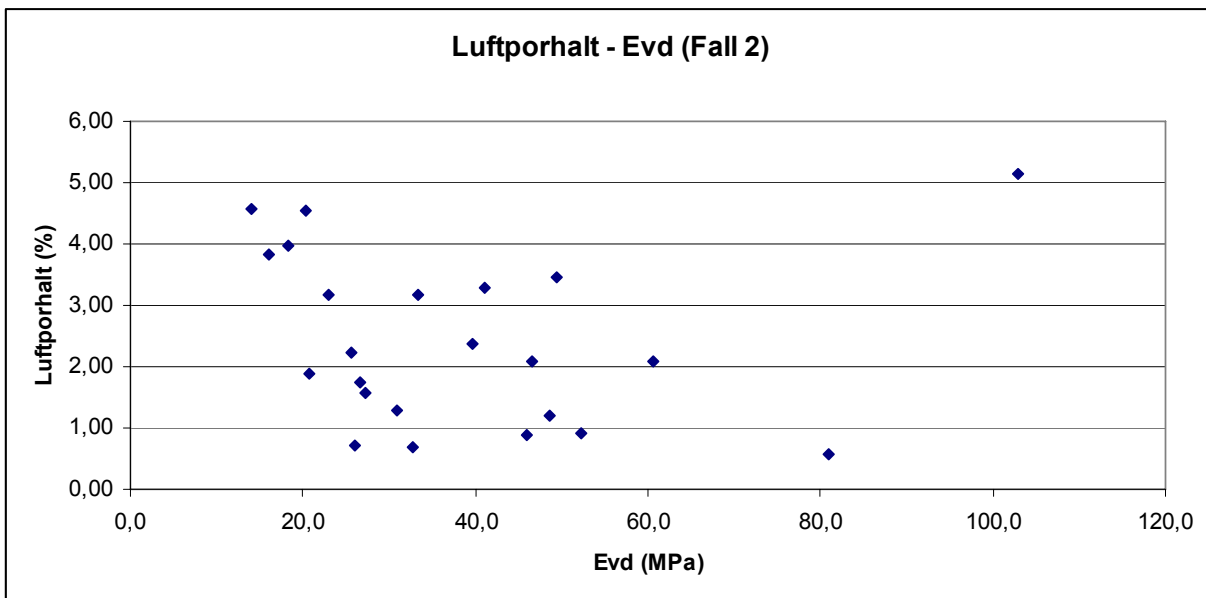
Diagrammen nedan visar luftporhalten jämfört med YPK (Evib) och Lätt fallvikt (Evd). Här har alla 24 värdena tagits med i beräkningen. För större diagram se Bilaga F. Punkterna bör ligga runt en neråtlutande linje.



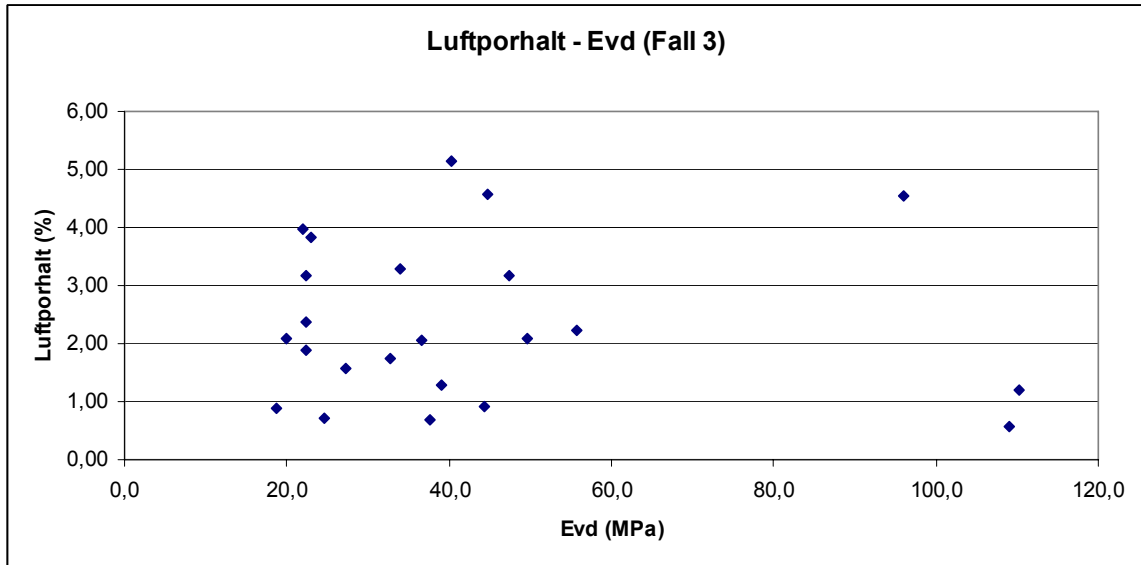
Figur 5.13 Jämförelse Luftporhalt (%) och Evib (MPa)



Figur 5.14 Jämförelse Luftporhalt (%) och Evd (MPa) Fall 1.



Figur 5.15 Jämförelse Luftporhalt (%) och Evd (MPa) Fall 2.



Figur 5.16 Jämförelse Luftporhalt (%) och Evd (MPa) Fall 3.

En stor spridning finns bland punkterna. Fall 2 för fallvikten visar på en samlad spridning kring en neråtlutande linje. De andra har mer oregelbundna spridningar.

6 Resultat och slutsats

6.1 Resultat

Denistetsmätningarna visar på höga densiteter med vattenkvoter runt 10-11% (För kompletta densitetsvärden se Bilaga B). Höga densiteter betyder att materialet är kompakt. Fenomenet på lermoränterasser är att detta inte behöver betyda hög bärighet med YPK beroende på eventuella överskottsportryck.

Resultaten från YPK-mätningen ligger i intervallet strax under 10 till strax under 60 MPa, vilket kan anses rimlig med tanke på tidigare erfarenheter. Det är en förhållandevis stor spridning med hänsyn till storleken på ytan. Försöket kördes bara med en vältinställning, det är därför svårt att säga hur resultaten skulle ha sett ut med t.ex. en högre amplitud. Men en högre amplitud innebär en starkare svängning vilket ger en djupare packning. Vilket kan bidra till ett högre portryck. (För kompletta YPK värden se Bilaga A)

Resultaten från plattbelastningsförsöken visar på Ev2 värden mellan 45 och 78 MPa. Ett avvikande Ev2 värde på 442 MPa registrerades. Detta förkastas på grund av orimlighet. Värdena kontrolleras mot ATB Väg Kapitel E, enligt kraven för skyddslager. (För kompletta plattbelastningsvärden se Bilaga C)

Krav enligt ATB Väg

Om $Ev2 \leq 40$: $Ev2/Ev1 \leq 3,5$

Om $Ev2 > 40$: $Ev2/Ev1 \leq 1 + 0,063 \cdot Ev2$

Ev2/Ev1-kvoter enligt testprotokoll:

F1	2,67	Godkänd!
B2	Förkastas	
C3	5,03	Godkänd!
E4	3,49	Godkänd!

Alla punkter ligger över 40 MPa vilket ger att det senare kravet används.

Fallviktsmätningen resulterade i Evd-värden mellan ca 10 och 120 MPa. Ett fåtal värden upp emot 300 MPa registrerades men tillförlitligheten hos dessa anses tveksam och dessa värden exkluderas ur medelvärdesberäkningarna.

När man jämför resultaten från de olika mätningarna ser man återkommande mönster med ett sämre område i sydöst och ett bättre område i väst.

6.2 Slutsats

Resultatet är inte entydiga, flera faktorer spelar in på slutsatsen, storleken på testytan exempelvis. Ytan är rimlig i förhållande till storleken på undersökningen men ju större ytan hade varit desto större kunde resultat tillförlitligheten ha blivit. Analyserna visar ändå på resultatmönster som återkommer hos alla testmetoder.

Och vad beträffar bärighetsvärdena för YPK ligger de i underkant jämfört med SAK-metoden. Plattbelastningens sämsta punkt låg inte i det sämsta området för YPK, dock låg det ibland dem sämre. Detta kan tolkas på flera sätt men det rimligaste är SAK inte nödvändigtvis behöver visa på det sämsta området.

Antalet mätpunkter för plattbelastning var i testet större än kravet enligt Vägverket på 8 punkter per 5000 kvadratmeter. Hade detta följts hade inte några punkter alls eller högst en punkt använts. Detta hade inte resulterat i tillförlitliga värden då ingen spridning kan ske. Att fyra stycken punkter undersöktes gynnade snarare resultatet då det ger högre tillförlitlighet. Just att kravet för SAK är vad det är beror på att metoden är till för att hålla nere antalet testpunkter med bibehållen statistisk säkerhet. Antalet punkter skulle kunna ökas till hela populationen, alltså hela ytan, men detta anses inte rimligt ur utförandesynpunkt.

För att nå en hög beständighet för vägbyggnadsmaterial måste materialet vara kompakt (låg luftporhalt). Och för att säkerställa detta vill man kontrollera de sämsta områdena. Till detta använder man YPK och grundfrågeställningen var om YPK är den lämpligaste metoden att kontrollera bärighet på lermoränterass med, om alternativet är SAK, och resultaten visar att det fungerar. YPK hittade dåliga områden och det sämsta värdet enligt SAK låg i detta område, dock inte i det allra sämsta. Tittar man på resultaten för luftporhalten överensstämmer de inte helt med YPK värdena. YPK är inte tänkt att användas för luftporhalt men där det finns dålig bärighet kan luftporhalten vara hög. Men en anledning kan åter igen vara storleken på testytan då antalet mätpunkter var begränsat.

Resultaten gav inte svar på alla frågeställningarna, exempelvis hur YPK påverkas av portrycket. Ytan var för liten och fler överfarter hade behövts. För att kontrollera hur amplituden spelar in på resultatet behövs flera testomgångar med olika amplitudinställningar. En högre amplitud ger en kraftfullare packning vilket förmodligen hade gett ett högre portryck. Tillsammans med en större yta hade effekterna av portryck varit lättare att överskåda. Men om ytan hade varit t.ex. fyra gånger större och med fler YPK överfarter hade också datamängden flerdubblats, likaså omfånget på arbetet. För att undersöka om vilotiden är tillräcklig behöver det konstateras att ett portryck faktiskt har

byggts upp och att det sedan neutraliserats, vilket är ett omfattande test. För att kunna överblicka väderekterna hade regn kunnat simulerats. Dock hade det krävts längre tidsperioder för att kunna dra någon slutsats mer än torrskorpsbildning. För att få fler och tillförlitligare svar behövs en större undersökning med en större testyta, och där varje testmoment utförs flera gånger under längre tid.

7 Referenser

Böcker

- Forsssblad Lars, Packning, Handbok om packning av jord- och bergmaterial. 2000
- Hansbo Sven, Jordförstärkning. 1990
- Sällfors Göran, Geoteknik, Jordmateriallära jordmekanik. 2001
- Larsson Rolf, Lermorän – en litteraturstudie. 2000. Statens Geotekniska Institut
- Malmberg, Bo S, Packad lermoräns hållfasthets- och kompressionsegenskaper, Tekniska högskolan i Lund. 1983

Internet

ATB Väg

Vägverket – 2008-09-24

VVMB 908 Statistisk acceptansk kontroll, 1994

Vägverket – 2008-10-17

VVMB 603 Yttäckande Packningskontroll, 1994

Vägverket – 2008-10-17

VVMB 606 Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning, 1993

SGU 2008-11-27

http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi/jord/tolka-karta/exempel_moran.html

PDF

- Kavadas, Vivi Earthwork Construction Inspection Level 1, DOT Flordia 2005
- Lin, Liao, Lin Factors Affecting Portable Falling Weight. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering 2006
- Lindh, Per Compaction- and strength properties of stabilised and unstabilised fine-grained tills, SGI Rapport 66, Statens Geotekniska Institut 2004.

Bilder

Figur 4.1

<http://www.troxlerlabs.com/PRODUCTS/3430-40plus.shtml> 2008-12-11

Figur 5.2

Satellitbild från Eniro. www.eniro.se

Intervjuer och mejlkontakt

Lovén Joel, Peab

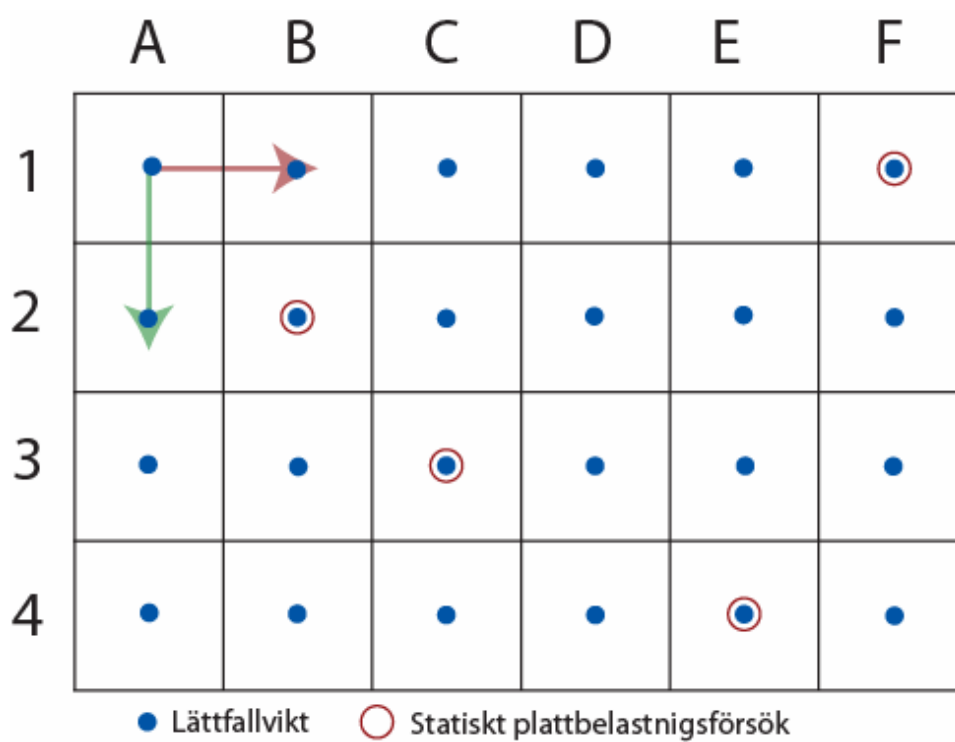
Rydén Nils, LTH/Peab

Lindh Per, Peab

Praktiskt försök

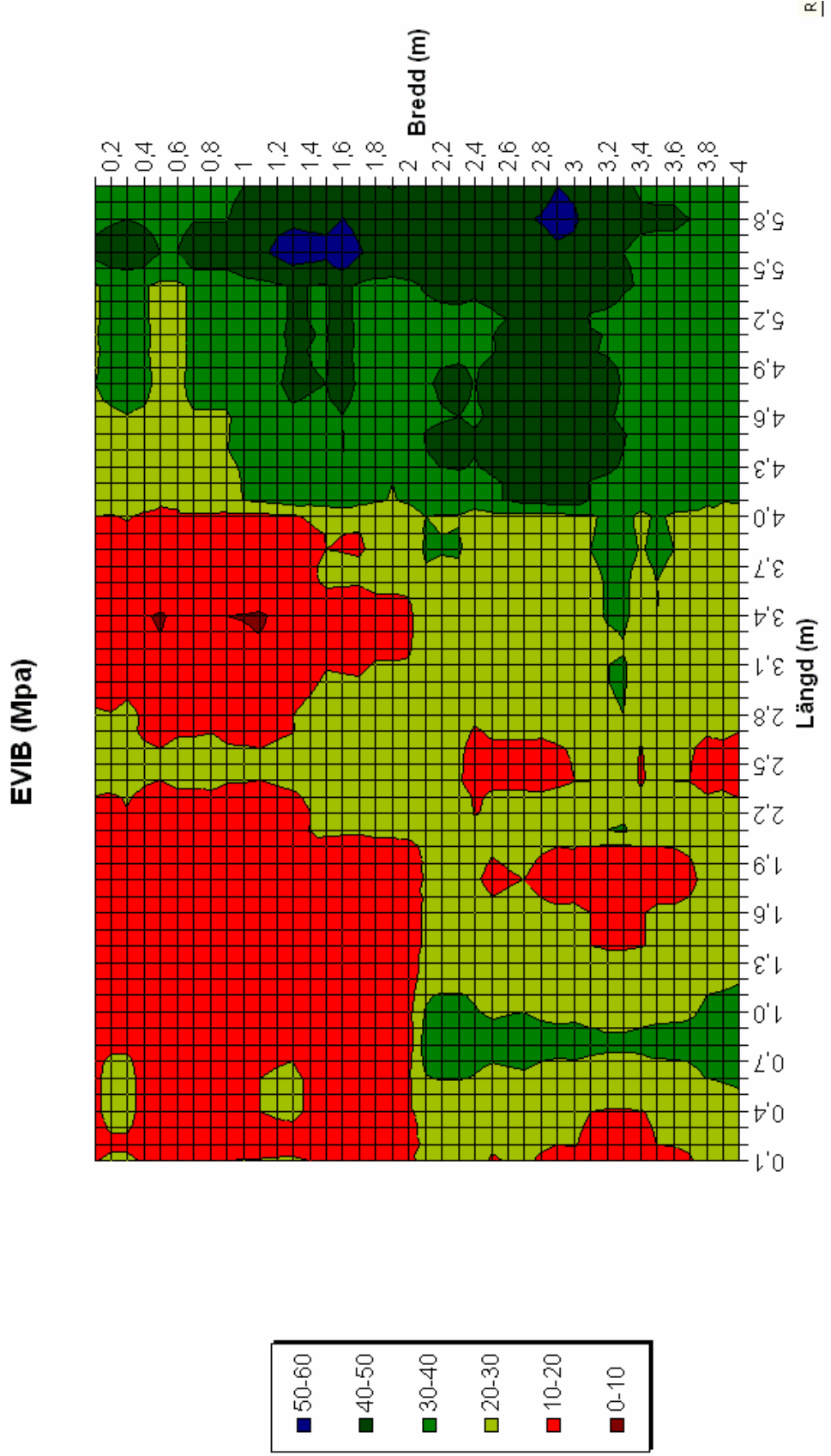
Fältmätning på Cramos utbyggnadsyta i Malmö

8 Bilaga A – YPK



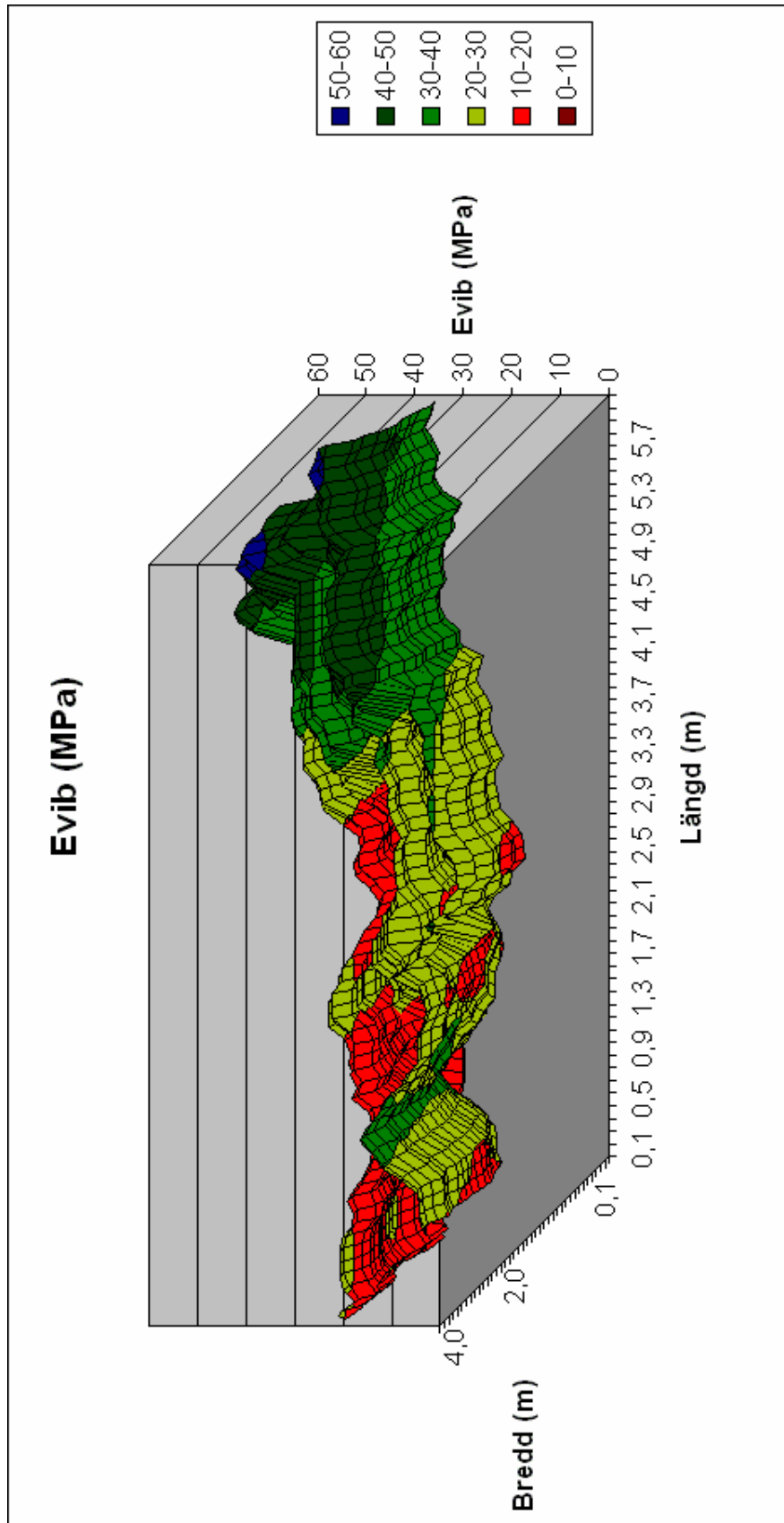
Bilden illustrerar i vilka riktningar som YPK utfördes Söder är uppåt och Väst är åt höger. (Lindh 2008)

YPK decimeterkarta

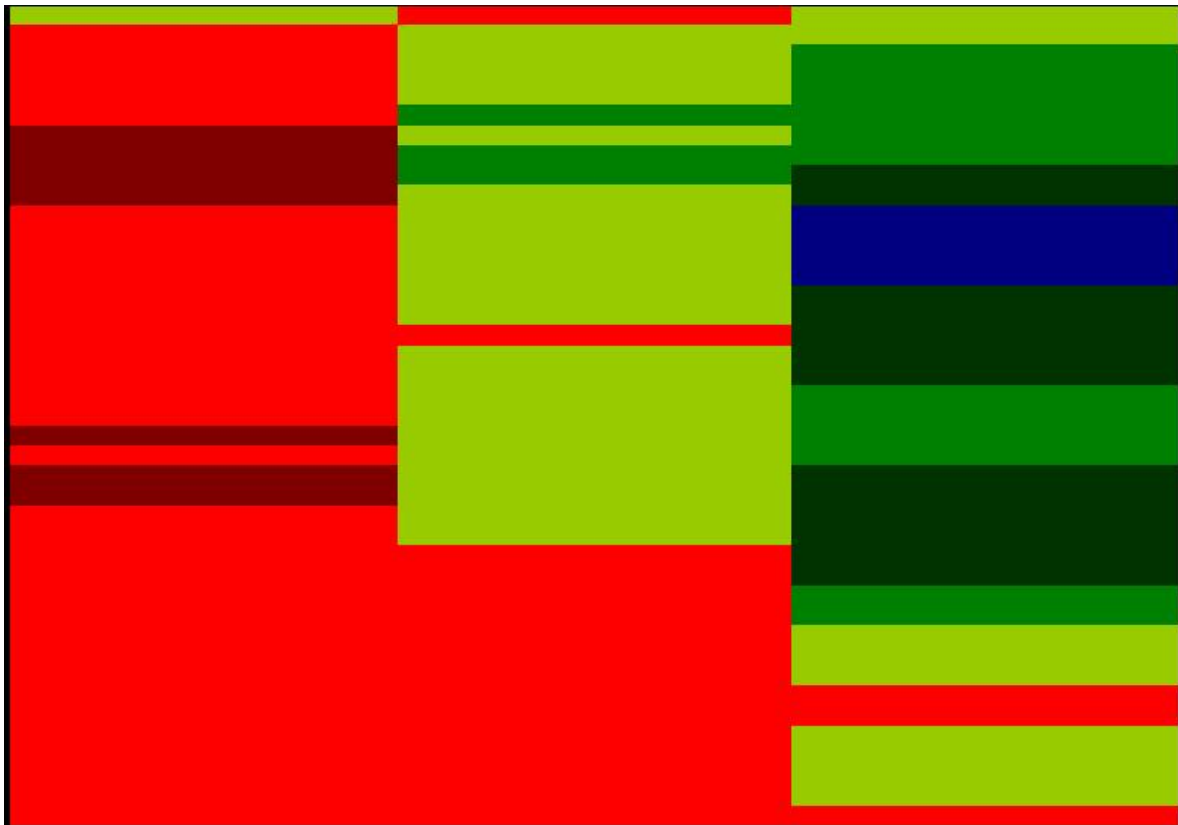


R

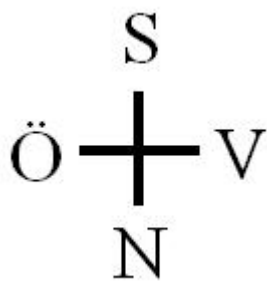
YPK decimeterkarta 3D



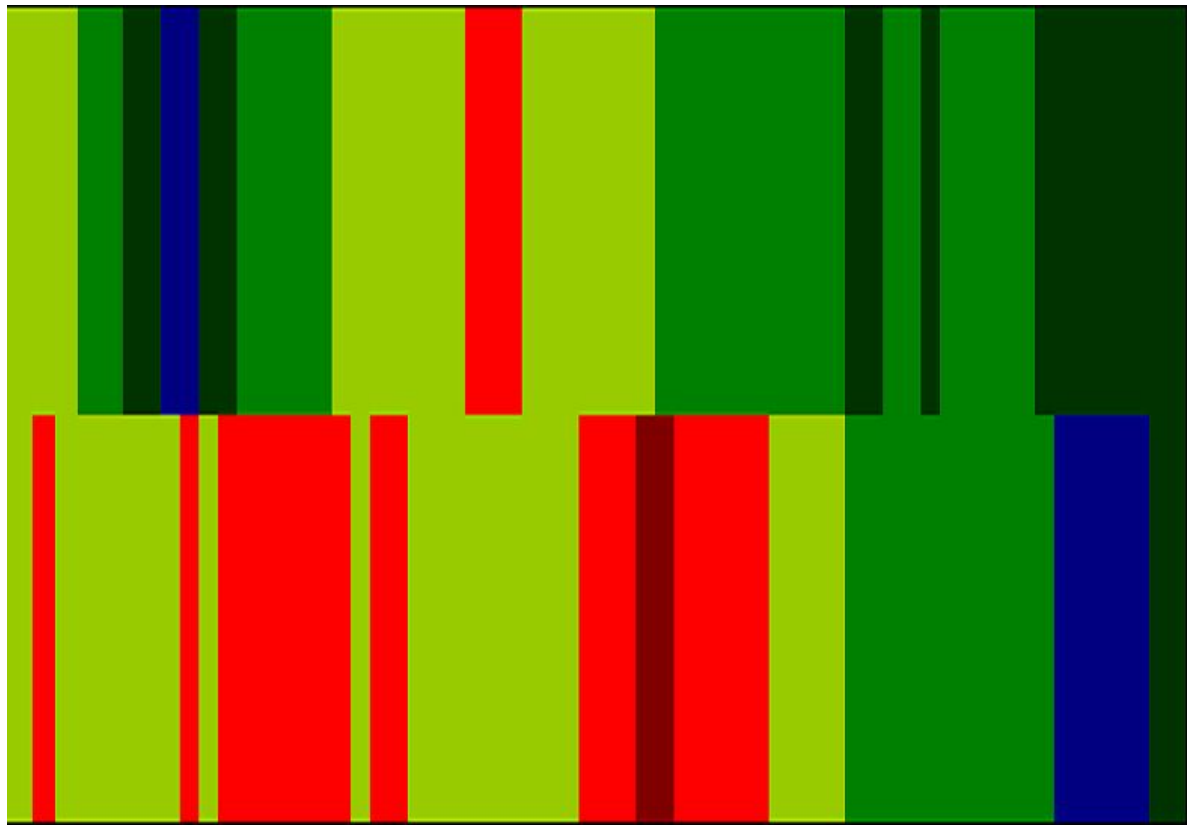
YPK – SÖDER till NORR (1-4)



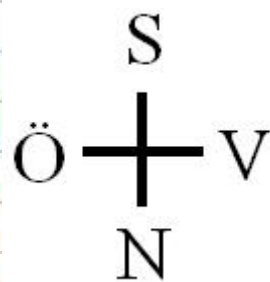
50-60	Blue
40-50	Dark Green
30-40	Green
20-30	Light Green
10-20	Red
0-10	Dark Red



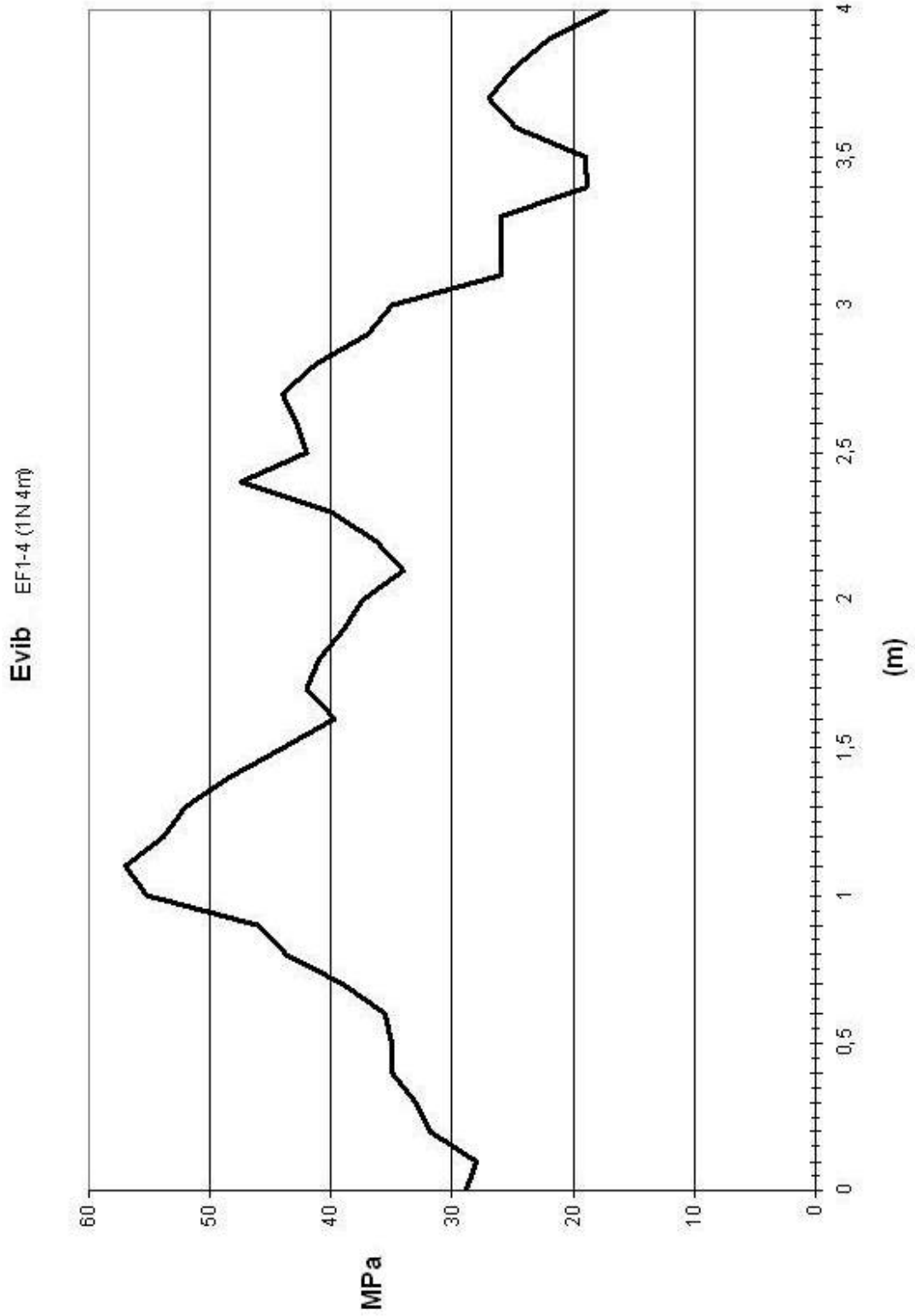
YPK – ÖST till VÄST (A-F)



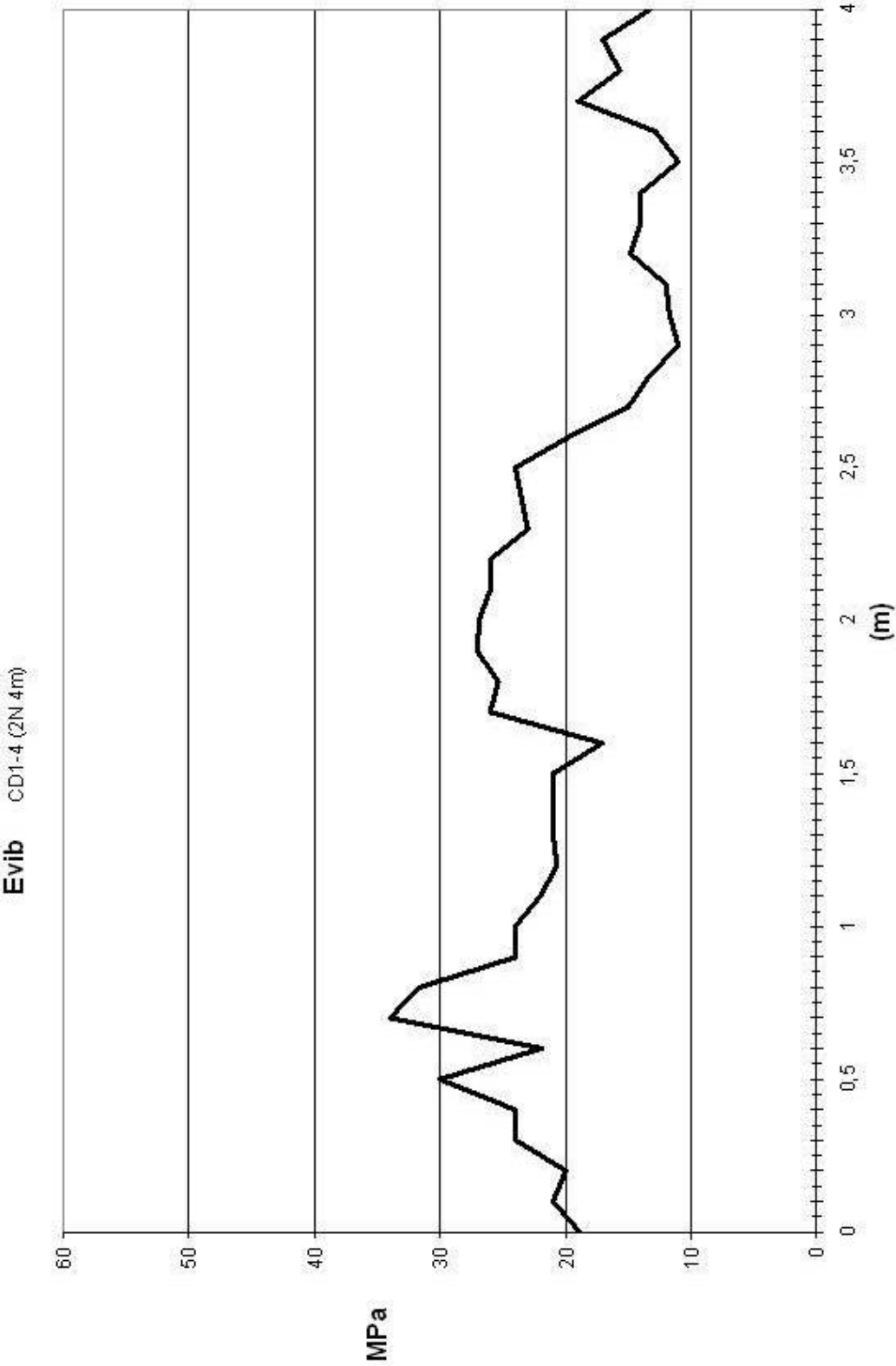
50-60	Blue
40-50	Dark Green
30-40	Green
20-30	Light Green
10-20	Red
0-10	Dark Red



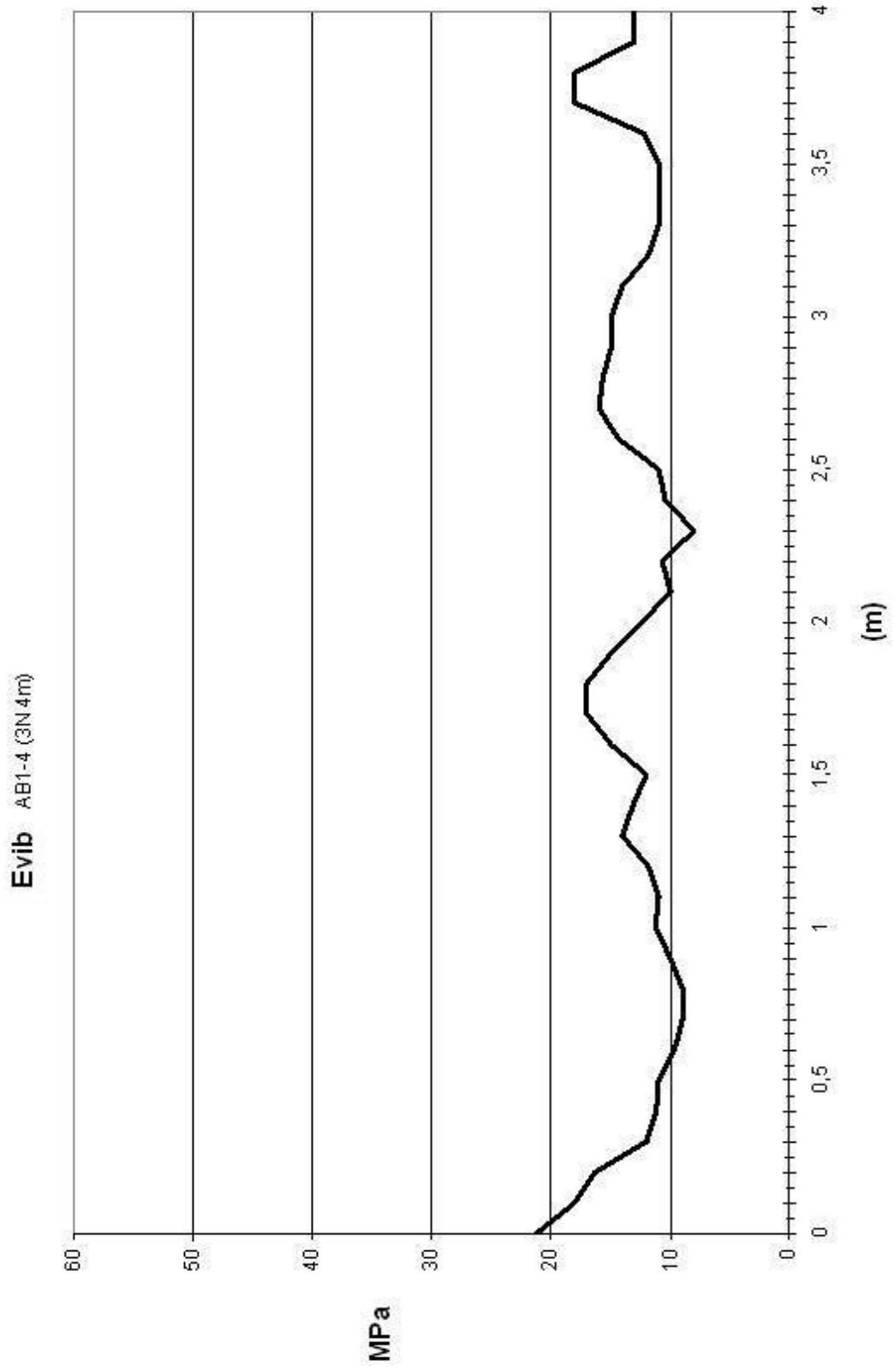
YPK Diagram 1 (EF 1-4)



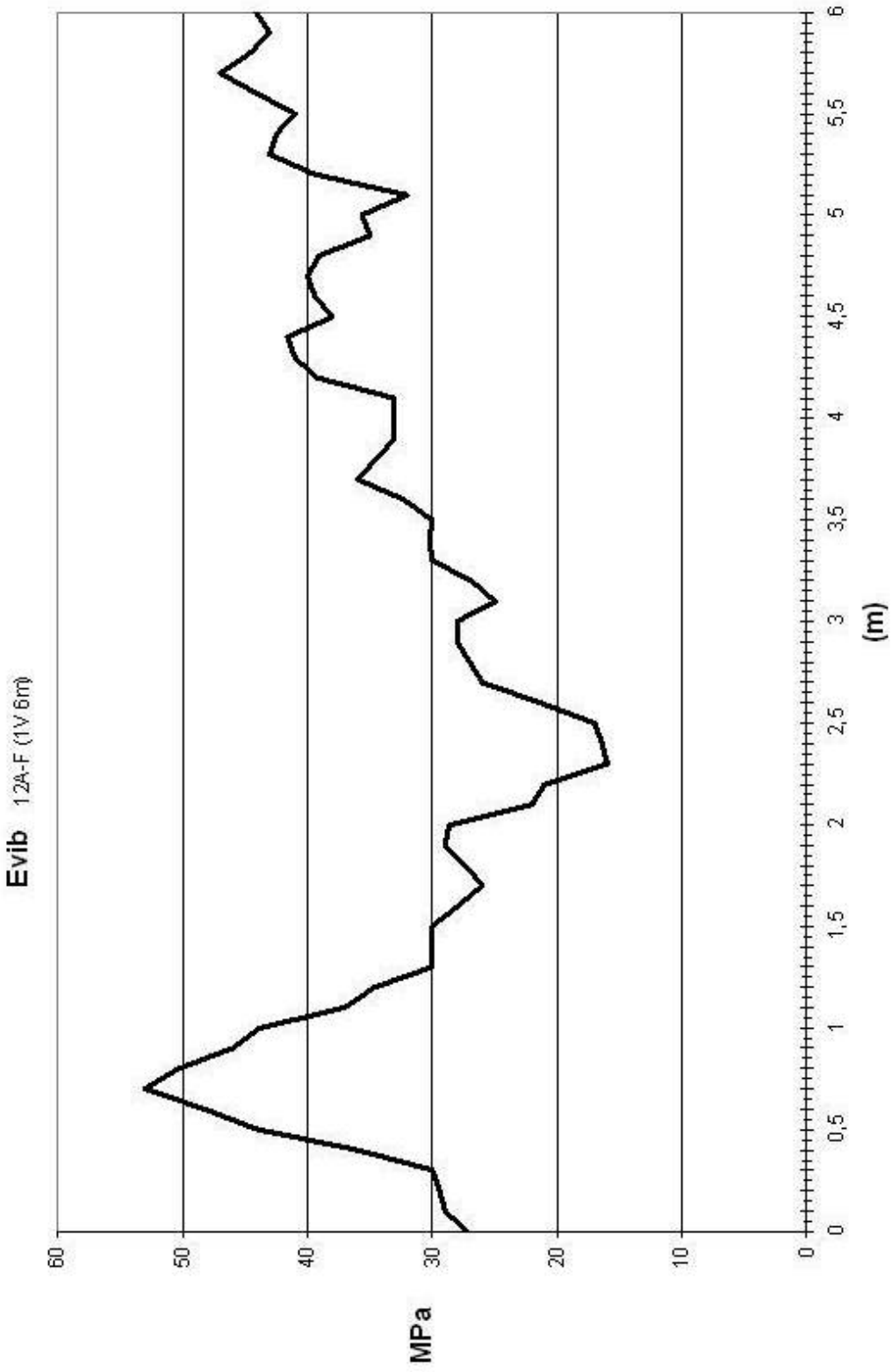
YPK Diagram 2 (CD 1-4)



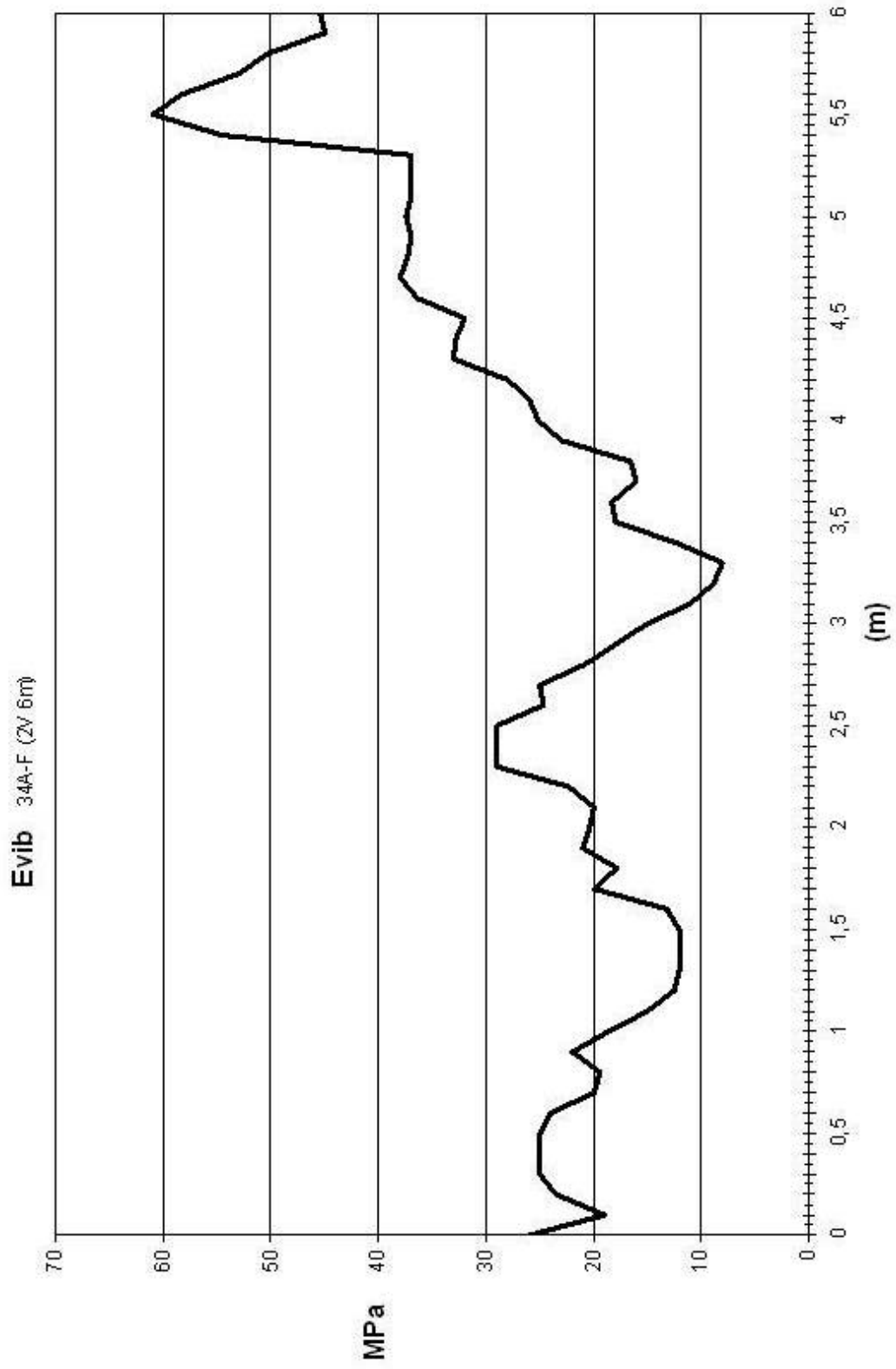
YPK Diagram 3 (AB 1-4)



YPK Diagram 4 (12 A-F)



YPK Diagram 5 (34 A-F)



BILAGA B – Troxler

Torrdensitet		S						
Ö		2082	2108	2068	2061	2093	2073	V
		2102	2039	2058	2074	2020	2076	
		2052	2200	2211	2080	2102	2068	
		2045	2058	2064	1993	2061	2077	
		N						
Våtdensitet		S						
Ö		2309	2307	2292	2255	2301	2304	V
		2315	2182	2267	2288	2244	2300	
		2249	2377	2326	2296	2306	2271	
		2272	2268	2264	2207	2261	2293	
		N						
Fukt		S						
Ö		10,9	9,4	10,8	9,4	9,9	11,2	V
		10,1	11,9	10,2	10,3	11,1	10,8	
		9,6	8	10,2	10,4	9,7	9,8	
		11,1	10,2	9,7	10,8	9,7	10,4	
		N						

Statiskt plattbelastningsförsök

Projekt = Exjobb Cramo

Försökspunkt nr. = F1

Loop nr.	Grundtryck (Mpa)	Kraft (kN)	Kraft (ton)	Grundtryck Avlast (Mpa)	Sättning (mm)			2 min	Δs (mm)	Kryptal (mm)	E_v Mpa
					Tid	0.5 min	1 min				
1	0,010	0,71	0,071	0,010	0	0	0	0,00	0,00		
1	0,100	7,07	0,707	0,100	0,75	0,77	0,80	0,05	0,08		
1	0,200	14,14	1,414	0,200	2,01	2,07	2,14	0,13	0,22		
1	0,300	21,21	2,121	0,300	3,12	3,20	3,28	0,16	0,27		
1	0,400	28,27	2,827	0,401	4,15	4,23	4,32	0,17	0,28	E_{v1}	
1	0,500	35,34	3,534	0,500	5,10	5,18	5,30	0,20	0,33	21,6	
Avlastning	0,250	17,67	1,767	0,247	5,08			-5,08	-8,4377		
Avlastning	0,100	7,07	0,707	0,101	4,61			-4,61	-7,657		
Avlastning	0,010	0,71	0,071	0,011	3,69			-3,69	-6,129	(E_{vd})	
2	0,100	7,07	0,707	0,100	4,05			-4,05	-6,7269	55,6	
2	0,300	21,21	2,121	0,300	4,86			-4,86	-8,0723	E_{v2}	
2	0,450	31,81	3,181	0,450	5,40			-5,4	-8,9692	57,8	
2	0,600	42,41	4,241	0,600	6,310	6,420	6,540	0,23	0,38		
2	0,700	49,48	4,948	0,700	7,280	7,350	7,520	0,24	0,40		
2	0,800	56,55	5,655	0,800	8,260	8,430	8,630	0,37	0,61		
2	0,900	63,62	6,362	0,900	9,480	9,670	9,860	0,38	0,63		
2	1,000	70,69	7,069					0,00	0,00		
2	1,100	77,75	7,775					0,00	0,00		
2	1,200	84,82	8,482					0,00	0,00		

Kvot $E_{v2} / E_{v1} = 2,67$

Statiskt plattbelastningsförsök

Projekt = Exjobb Cramo

Försökspunkt nr. = B2

Loop nr.	Grundtryck (Mpa)	Kraft (kN)	Kraft (ton)	Grundtryck Avläst (Mpa)	Sättning (mm)			2 min
					Tid 0.5 min	1 min	0	
1	0,010	0,71	0,071	0,010	0	0	0	0
1	0,100	7,07	0,707	0,100	2,89	2,98	3,10	3,10
1	0,200	14,14	1,414	0,200	5,82	5,96	6,11	6,11
1	0,300	21,21	2,121	0,300	8,67	8,84	9,03	9,03
1	0,400	28,27	2,827	0,405	10,61	10,83	12,10	12,10
1	0,500	35,34	3,534	0,501	13,07	13,07	13,07	13,07
Avlastning	0,250	17,67	1,767	0,248	13,07			
Avlastning	0,100	7,07	0,707	0,100	13,07			
Avlastning	0,010	0,71	0,071	0,017	12,85			
2	0,100	7,07	0,707	0,103	13,07			
2	0,300	21,21	2,121	0,303	13,07			
2	0,450	31,81	3,181	0,450	13,07			
2	0,600	42,41	4,241	0,604	13,100	13,130	13,140	13,140
2	0,700	49,48	4,948	0,682	13,140	13,140	13,140	13,140
2	0,800	56,55	5,655					
2	0,900	63,62	6,362					
2	1,000	70,69	7,069					
2	1,100	77,75	7,775					
2	1,200	84,82	8,482					

Kvot $E_v / E_{v1} = 52,39$

Δs (mm) **0,00** **0,21** **0,29** **0,36** **1,49** **0,00** **-13,07** **-13,07** **-12,85** **-13,07** **-13,07** **-13,07** **0,04** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00**
0,00 **0,35** **0,48** **0,60** **2,47** **0,00** **-21,709** **-21,709** **-21,343** **-21,709** **-21,709** **-21,709** **0,07** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00** **0,00**
 E_{v1} **E_v** **Mpa** **8,5** **88,0** **E_{v2}** **442,8**

Statiskt plattbelastningsförsök

Projekt = Exjobb Cramo

Försökspunkt nr. = C3

Loop nr.	Grundtryck		Kraft (kN)	Kraft (ton)	Grundtryck Avlast (Mpa)	Sättning (mm)			2 min
	(Mpa)	(Mpa)				Tid 0.5 min	1 min	2 min	
1	0,010	0,010	0,71	0,071	0,010	0	0	0	0
1	0,100	0,100	7,07	0,707	0,100	1,78	1,83	1,89	1,89
1	0,200	0,200	14,14	1,414	0,200	3,48	3,56	3,62	3,62
1	0,300	0,300	21,21	2,121	0,300	4,97	5,05	5,14	5,14
1	0,400	0,400	28,27	2,827	0,400	6,35	6,47	6,60	6,60
1	0,500	0,500	35,34	3,534	0,500	7,13	7,13	7,13	7,13
Avlastning									
	0,250	0,250	17,67	1,767	0,258	7,13			
Avlastning									
	0,100	0,100	7,07	0,707	0,102	7,13			
Avlastning									
	0,010	0,010	0,71	0,071	0,011	5,87			
2	0,100	0,100	7,07	0,707	0,100	6,33			
2	0,300	0,300	21,21	2,121	0,300	7,13			
2	0,450	0,450	31,81	3,181	0,450	7,13			
2	0,600	0,600	42,41	4,241	0,600	7,130	7,130	7,130	7,130
2	0,700	0,700	49,48	4,948	0,700	7,130	7,130	7,130	7,130
2	0,800	0,800	56,55	5,655	0,802	7,130	7,160	7,190	7,190
2	0,900	0,900	63,62	6,362	0,901	7,190	7,190	7,190	7,190
2	1,000	1,000	70,69	7,069					
2	1,100	1,100	77,75	7,775					
2	1,200	1,200	84,82	8,482					

Kvot $E_{v2} / E_{v1} = 5,07$

Δs (mm)	Kryptal (mm)	E_v Mpa
0,00	0,00	
0,11	0,18	
0,14	0,23	
0,17	0,28	
0,25	0,42	E_{v1}
0,00	0,00	15,5
-7,13	-11,843	
-7,13	-11,843	
-5,87	-9,7499	(Evd)
-6,33	-10,514	43,5
-7,13	-11,843	E_{v2}
-7,13	-11,843	78,4
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,06	0,10	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	

Statiskt plattbelastningsförsök

Projekt = Exjobb Cramo

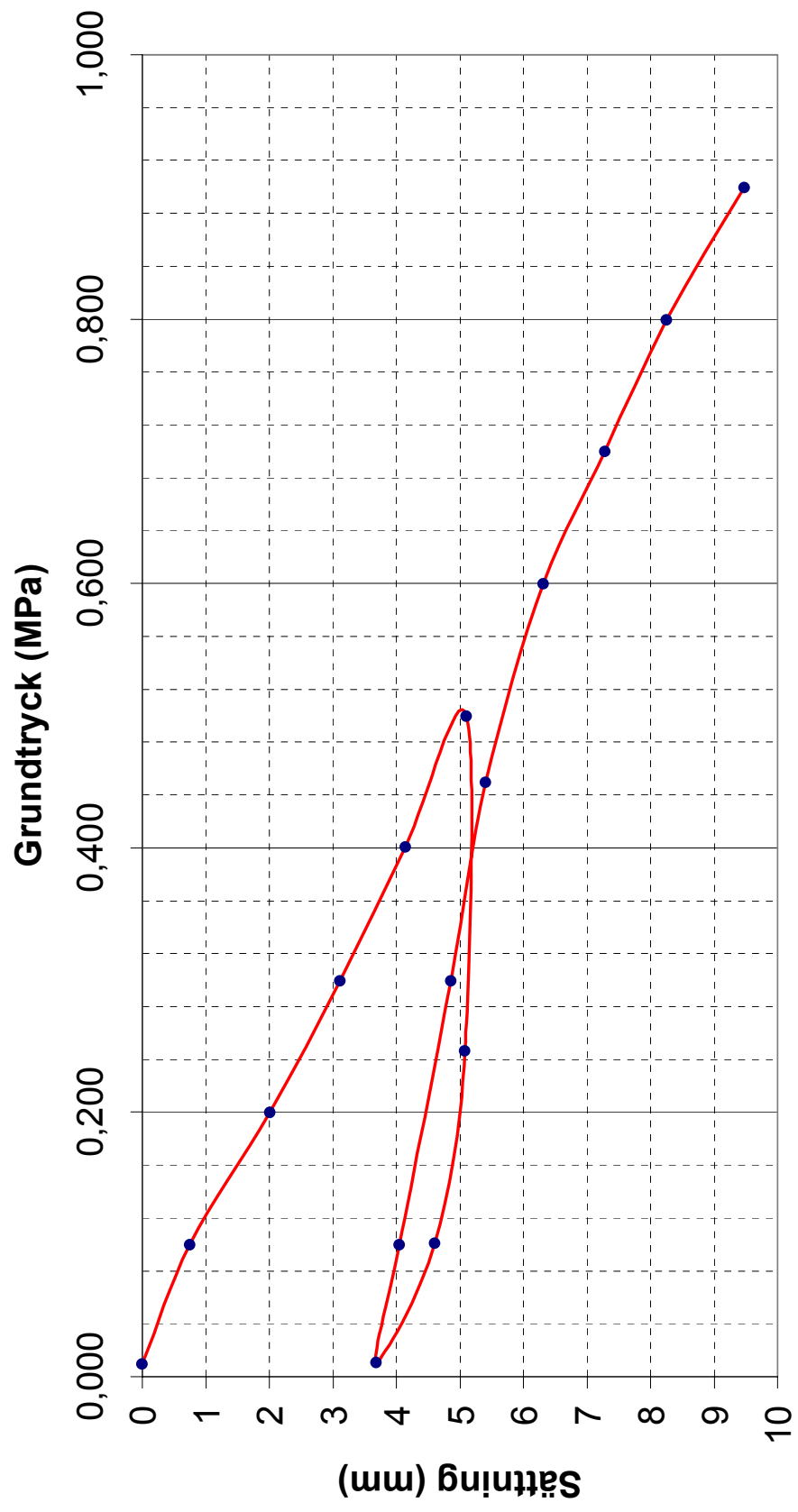
Försökspunkt nr. = E4

Loop nr.	Grundtryck (Mpa)	Kraft (kN)	Kraft (ton)	Grundtryck Avlast (Mpa)	Sättning (mm)			2 min
					Tid 0.5 min	1 min	2 min	
1	0,010	0,71	0,071	0,010	0	0	0	0
1	0,100	7,07	0,707	0,102	1,89	1,91	1,96	
1	0,200	14,14	1,414	0,200	3,45	3,53	3,63	
1	0,300	21,21	2,121	0,302	5,10	5,22	5,36	
1	0,400	28,27	2,827	0,400	6,73	6,89	7,07	
1	0,500	35,34	3,534	0,500	8,50	8,71	8,94	
Avlastning	0,250	17,67	1,767	0,247	8,65			
Avlastning	0,100	7,07	0,707	0,104	8,14			
Avlastning	0,010	0,71	0,071	0,010	7,00			
2	0,100	7,07	0,707	0,100	7,37			
2	0,300	21,21	2,121	0,300	8,41			
2	0,450	31,81	3,181	0,450	9,19			
2	0,600	42,41	4,241	0,600	10,890	11,100	11,340	
2	0,700	49,48	4,948	0,702	11,710	11,710	11,710	
2	0,800	56,55	5,655	0,800	11,710	11,710	11,710	
2	0,900	63,62	6,362	0,901	11,710	11,710	11,710	
2	1,000	70,69	7,069					
2	1,100	77,75	7,775					
2	1,200	84,82	8,482					

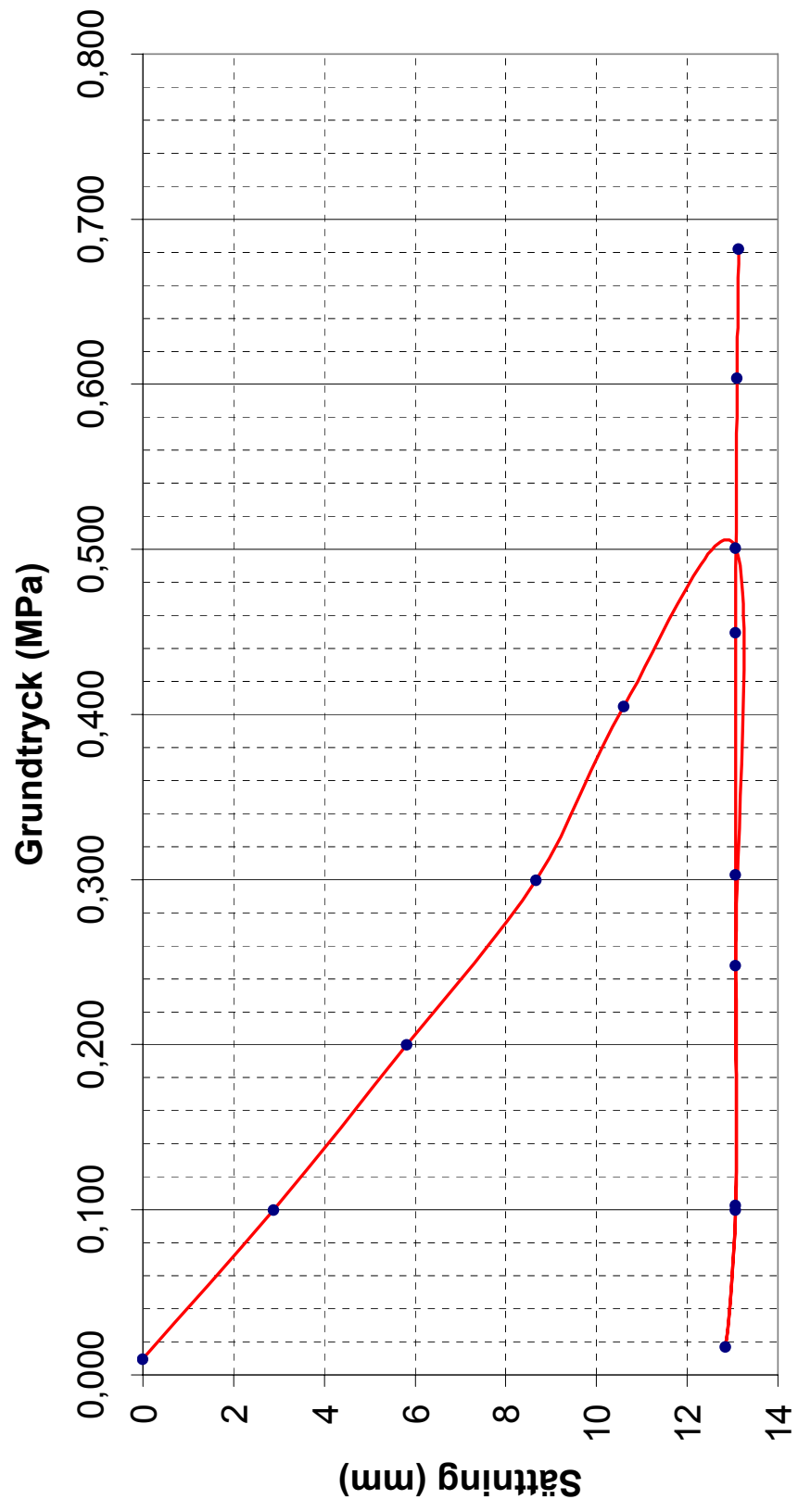
Δs (mm)	Kryptal (mm)	E_v Mpa
0,00	0,00	
0,07	0,12	
0,18	0,30	
0,26	0,43	
0,34	0,56	E_{v1}
0,44	0,73	13,0
-8,65	-14,367	
-8,14	-13,52	
-7	-11,627	(Evd)
-7,37	-12,241	54,7
-8,41	-13,969	E_{v2}
-9,19	-15,264	45,2
0,45	0,75	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	
0,00	0,00	

Kvot $E_{v2} / E_{v1} = 3,49$

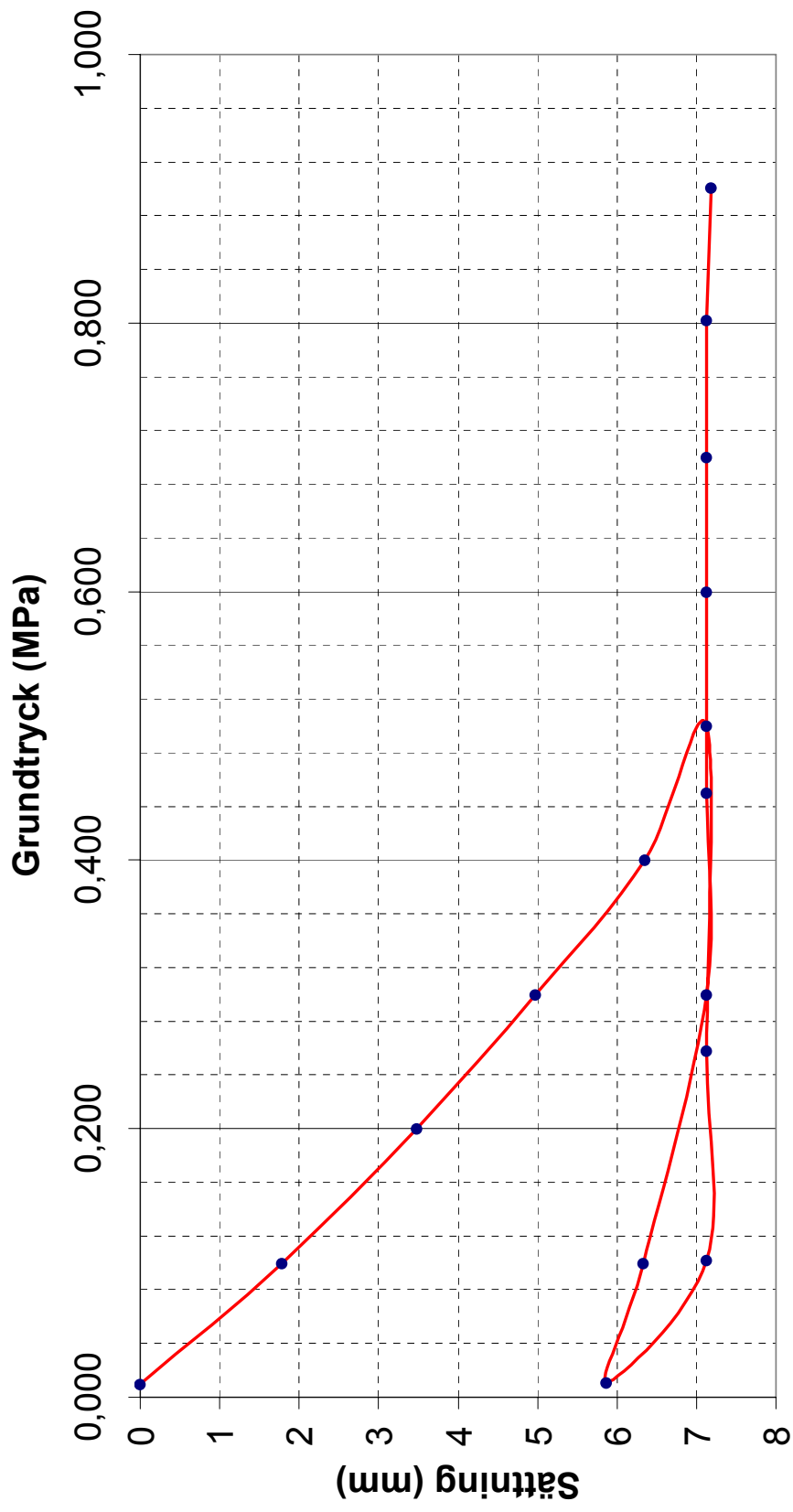
Probelastningskurva



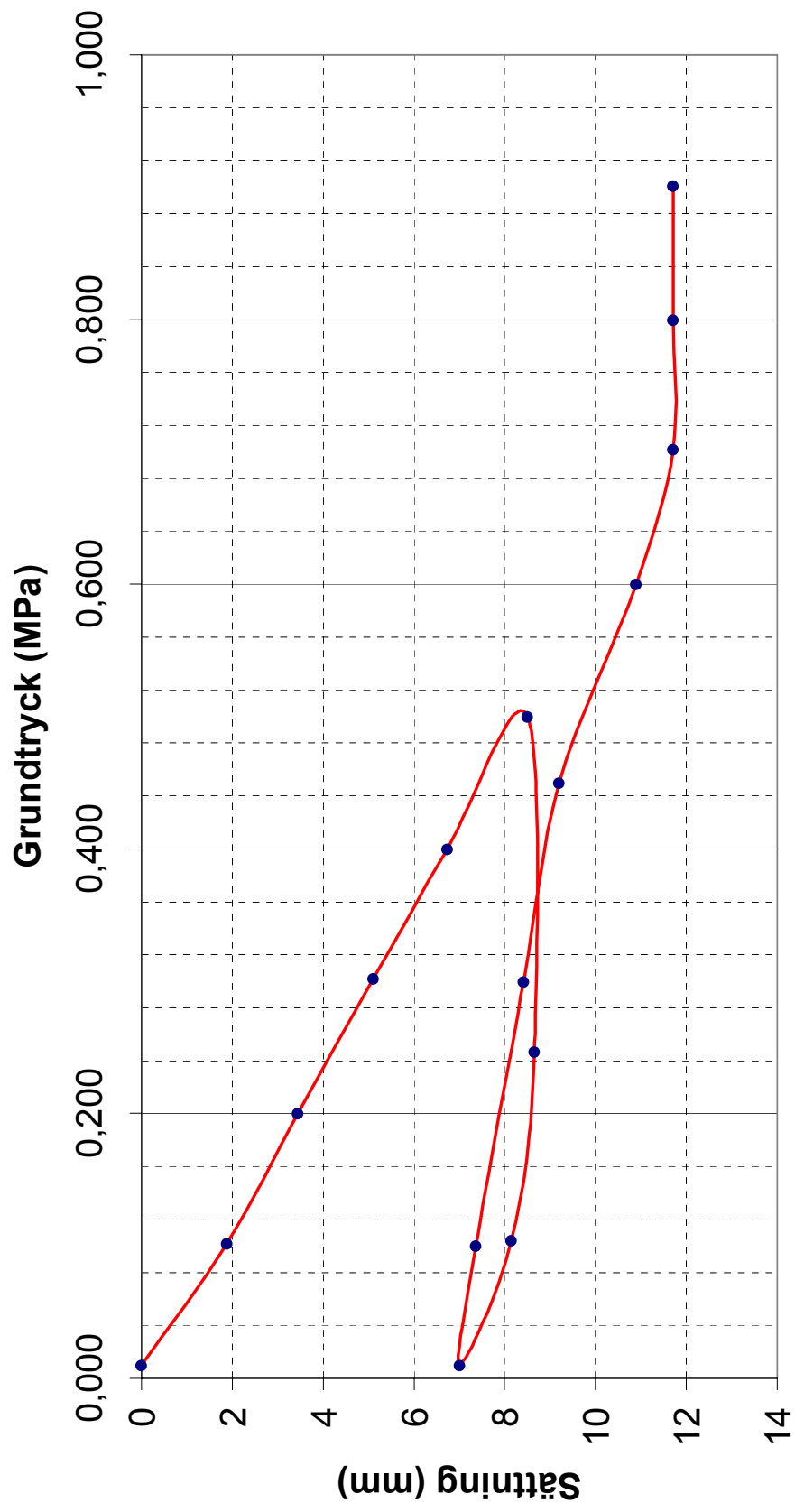
Probelastningskurva



Provbelastningskurva



Provbelastningskurva



BILAGA D – Lätt fallvikt

Fall 1

53,3	42,0	75,3	32,3	25,0	27,3
10,0	29,0	28,0	71,7	50,0	95,0
15,3	43,7	45,0	138,0	69,7	122,0
65,3	34,3	9,7	67,7	32,7	90,0

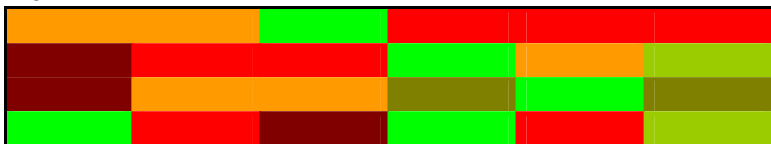
Fall 2

26,0	39,7	27,3	20,3	60,7	81,0
31,0	46,0	23,0	25,7	41,0	48,7
14,0	52,3	32,7	26,7	258,7	49,3
46,7	33,3	16,0	103,0	18,3	20,7

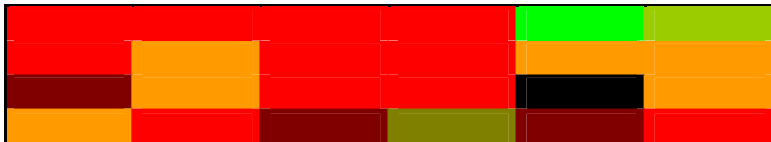
Fall 3

24,7	22,3	27,3	96,0	20,0	109,0
39,0	18,7	22,3	55,7	34,0	110,3
44,7	44,3	37,7	32,7	36,7	275,7
49,7	47,3	23,0	40,3	22,0	22,3

Fall 1



Fall 2



Fall 3



BILAGA E – Jämförelsekarta för YPK och fallvikt.

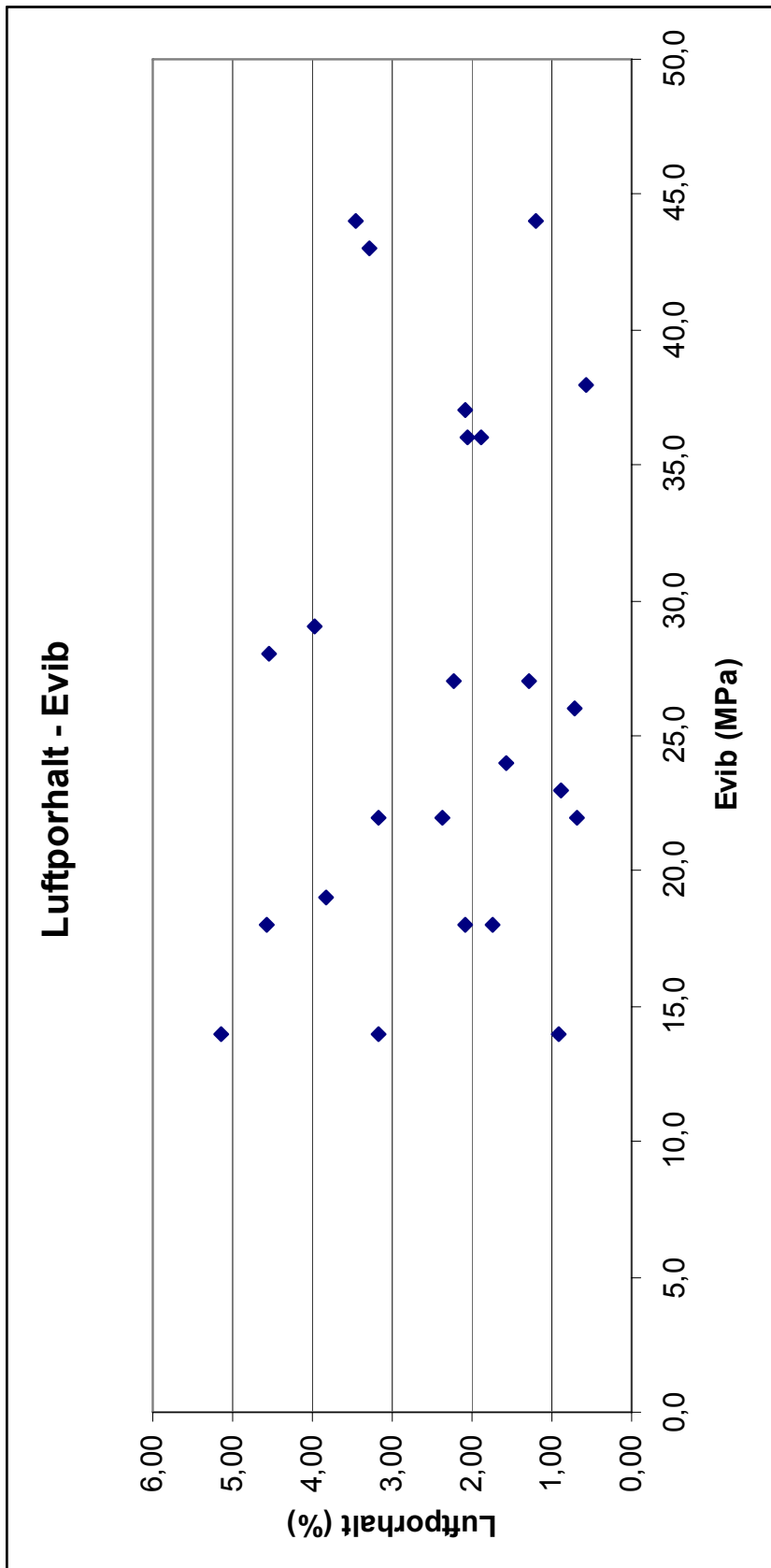
34	52	49
40	65	79
13	24	42
13	17	32
36	24	58
37	45	29
26	50	68
47	33	27
36	27	40
19	20	41

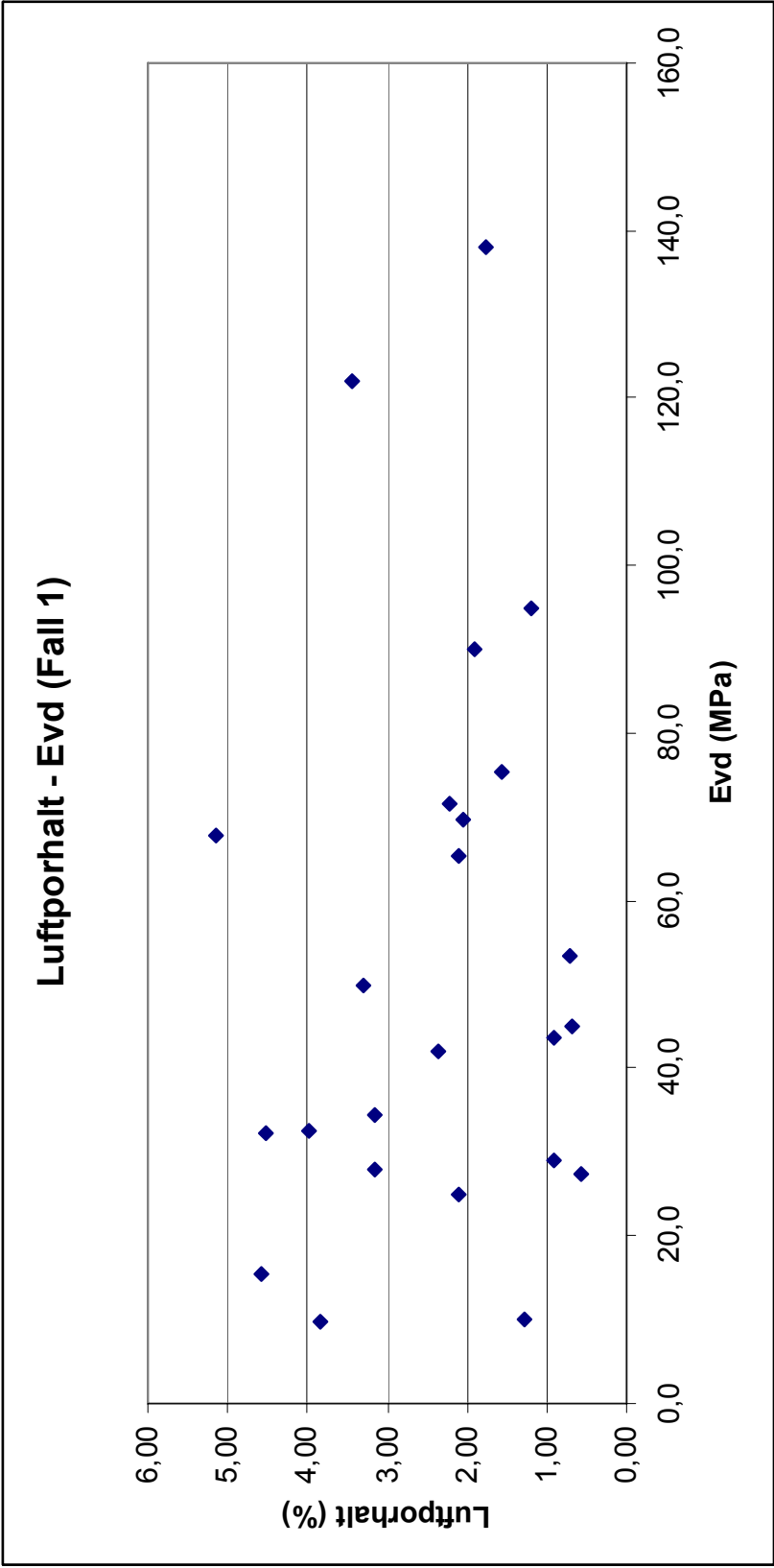
Bilden visar ytan i två gånger två meters kvadrater där medelvärden bildats. De två extremvärdena har exkluderats (gulmarkerade i Bilaga D). Vita rutor är fallvikten och gula är YPK.

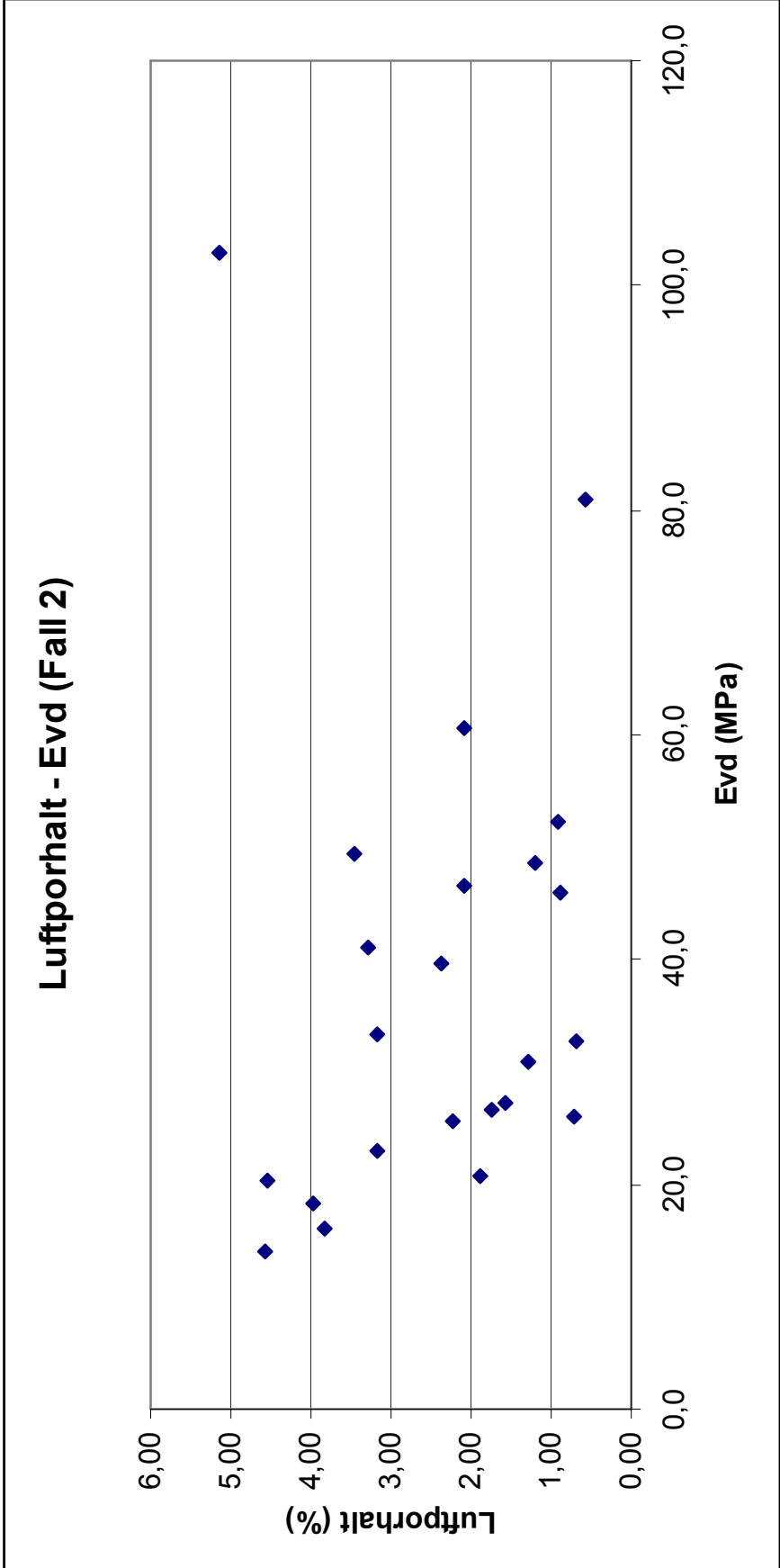
Standardavvikelsen

5,0	15,6	9,5
5,1	16,1	29,1

BILAGA F – Jämförelsedigram Luftporhalt, Evib, Evd







Luftporhalt - Evd (Fall 3)

