

Utvecklad packningskontroll för framtidens kvalitetssäkring – etapp 1

Korrelation mellan yttäckande packningskontroll och
plattbelastningsförsök genom fullskaliga laboratorieförsök

Wenjun Hua
KTH Avd. Jord- och bergmekanik

2026-03-12



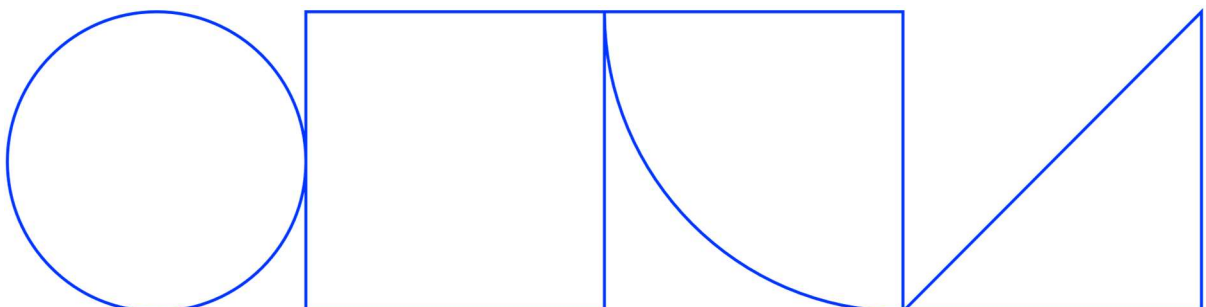
KERBEROS
GEOTEKNIK



DYNAPAC
FAVAT GROUP



TRAFIKVERKET



Förord

Denna SBUF-rapport sammanfattar resultaten från forskningsprojektet "Utvecklad packningskontroll för framtidens kvalitetssäkring – etapp 1". Projektet har undersökt hur kvalitetssäkringen av jordpackning kan vidareutvecklas genom att etablera tillförlitliga korrelationer mellan mätvärde för yttäckande packningskontroll (YPK) och konventionella statiska plattbelastningsförsök (PLT), med det slutgiltiga målet att minska eller helt ersätta behovet av tidsödande punktprov.

Forskningen har i huvudsak bedrivits av doktorand Wenjun Hua vid avdelningen för jord- och bergmekanik, KTH Kungliga Tekniska högskolan, under 2024–2026, med stöd från handledarna Stefan Larsson (KTH) och Carl Wersäll (Kerberos Geoteknik AB), och i nära samarbete med Andreas Persson och Fredrik Akesson (Dynapac Compaction Equipment AB).

Forskningsresultaten har presenterats i följande publikationer, och fullständiga tekniska detaljer återfinns i licentiatuppsatsen:

Article A. Hua, W., Persson, A., Akesson, F., Wersäll, C., Larsson, S. (submitted for publication). Correlating continuous compaction measurement to plate load tests for quality assurance. *Transportation Geotechnics*.

Article B. Hua, W., Larsson, S., Wersäll, C. (manuscript). Nonlinear vibration response of a roller-soil system using finite element analysis with hypoplasticity.

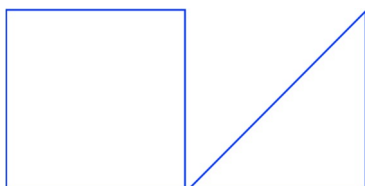
Article C. Hua, W., Wersäll, C., Larsson, S. (2025). Packningskontroll för framtiden: Modern teknik i stället för långsamma försök. *Bygg & teknik*, 1/25, 24–27.

Artikel D. Hua, W., Wersäll, C., Persson, A., Larsson, S. (2026). Mot tillförlitlig yttäckande packningskontroll – Lärdomar från fullskaleförsök. *Grundläggningdagen 2026*.

Licentiatuppsats. Hua, W. (manuscript). Towards reliable vibratory compaction control: Integrating full-scale testing and advanced finite element analysis. KTH, Stockholm.

Ett stort tack riktas till SBUF via Peab Anläggning AB, Trafikverket via BIG, samt KTH för finansieringen av projektet. Ett särskilt tack riktas till Dynapac Compaction Equipment AB för tillhandahållandet av utrustning, personal och forskningsanläggning för fullskaleförsöken. Projektet fick också värdefullt stöd från en referensgrupp som bidrog med viktiga branshperspektiv. Referensgruppen bestod av: Peter Zackrisson, Olle Båtelsson och Klas Hermelin (Trafikverket); Jessica Malmberg (Skanska); Bo Johansson (NCC); Anders Gudmarsson (Tyréns); Nils Ryden (Peab); samt Dina Kuttah (VTI).

Stockholm, mars 2026



Sammanfattning

Jordpackning är en av de mest grundläggande och kritiska jordförstärkningsmetoderna och utförs i nästan alla typer av byggprojekt. En väl utförd packning är avgörande för en konstruktions funktion och livslängd, exempelvis för järnvägar och vägar där minimala sättningar är ett absolut krav. Traditionellt verifieras packningskvaliteten med hjälp av statiska plattbelastningsförsök (PLT), där deformationsmodulen från den andra lastcykeln (E_{v2}) mäts. PLT är dock arbetsintensivt och tidsödande, och ger endast diskreta mätpunkter, vilket lämnar stora delar av den packade ytan okontrollerad.

Yttäckande packningskontroll (YPK), även kallat intelligent packning, använder accelerometrar monterade på vibrationsvältar för att leverera spatialt kontinuerliga mätvärden i realtid. Trots att tekniken introducerades för flera decennier sedan är YPK fortfarande inte allmänt accepterat som en fristående metod för kvalitetssäkring, eftersom man hittills inte lyckats etablera tillförlitliga och konsekventa korrelationer mellan YPK-värden och konventionella PLT-resultat.

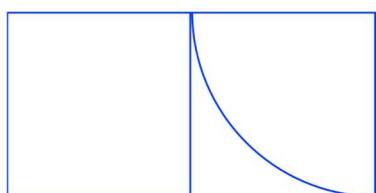
Detta projekt adresserar denna kritiska utmaning genom att genomföra en serie fullskaleförsök i laboratoriemiljö på en testbädd av grus. Arbetet kvantifierar systematiskt hur två faktorer påverkar den uppmätta styvheten och korrelationerna mellan YPK-värden och E_{v2} : PLT-plattans diameter (300 mm och 600 mm) samt typen av vibrationsvält (statiska linjelaster på 36 respektive 65 kg/cm). Totalt genomfördes 116 plattbelastningsförsök, och 16 olika YPK-värden utvärderades, vilka spänner över accelerationsbaserade, mekanikbaserade och energibaserade kategorier. De viktigaste resultaten är följande:

- Trots att 600 mm-plattan gav något lägre E_{v2} -värden, producerade den konsekvent starkare korrelationer med YPK-värdena än den normala 300 mm-plattan. En praktisk tolkning är att den större plattan mobiliserar en djupare influenszon som bättre överensstämmer med vältens effektiva mätdjup, vilket minskar känsligheten för lokal heterogenitet vid ytan.
- Den tyngre välten uppnådde en högre styvhet snabbare och uppvisade generellt lägre variabilitet vid ett måttligt antal överfarter, men den lättare välten gav ofta starkare korrelationer mellan YPK-värden och E_{v2} . Detta beror på minskad intermittent kontaktförlust samt en bättre överensstämmelse i mätdjup.
- Mekanikbaserade YPK-värden, i synnerhet vibrationsmodulen E_{vib1} under lastningsfasen, visade den starkaste korrelationen med E_{v2} (R upp till 0,8), medan energibaserade index var de minst lämpliga.
- Statistisk analys visade på en betydande redundans bland de analyserade YPK-värdena, vilka kan grupperas i tre tydliga kluster. Detta stöder strategin att endast använda en representativ indikator per kluster vid kalibrering.

Sammantaget ger resultaten praktisk vägledning för mer tillförlitliga YPK-baserade arbetsflöden för kvalitetssäkring. Studien identifierar också den primära utmaningen för att driva YPK-tekniken framåt: att utveckla maskinoberoende YPK-värden för universell kvalitetssäkring. Syftet med projektet är att utveckla en ny typ av YPK-värde som på sikt kan ersätta plattbelastningsförsök och således effektivisera kvalitetskontrollen.

Innehåll

1. Inledning	5
1.1 Syfte	5
1.2 Omfattning	5
1.3 Avgränsningar	6
2. Kort litteraturöversikt	6
3. Metod	7
3.1 Försöksupplägg	7
3.2 Material och utrustning	9
3.3 YPK-värden	10
3.4 Analysmetoder	10
4. Exempel på resultat och praktiska implikationer	10
4.1 PLT-plattans storlek	10
4.2 Välttypens och antal överfarters betydelse	11
4.3 Vilka YPK-värden korrelerar bäst?	12
5. Slutsatser och framtida arbete	12
Referenser	14



1. Inledning

Högkvalitativ jordpackning är avgörande för att säkerställa bärigheten och den långsiktiga prestandan hos bankfyllningar, samt för att minimera framtida underhållskostnader. I Sverige och många andra europeiska länder är det statiska plattbelastningsförsöket (PLT) den dominerande metoden för kvalitetssäkring (QA) av packning. Genom att mäta deformationsmodulerna (E_{v1} och E_{v2}) kan undergrundens styvhet verifieras. PLT har dock stora begränsningar: det är ett långsamt (tar cirka en timme per test), diskret punktprov som endast utvärderar en bråkdel av en procent av den totala packade ytan (som ofta täcker tusentals kvadratmeter), vilket endast ger fördröjd, retrospektiv återkoppling.

Yttäckande packningskontroll (YPK), som härstammar från Sverige på 1970-talet, använder vältmonterade sensorer för att kontinuerligt leverera mätvärden över hela det packade området under drift. Högre YPK-värden indikerar generellt sett en bättre packning. Denna teknik möjliggör återkoppling i realtid och driftjusteringar, vilket minskar risken för både under- och överpackning.

Trots över fyra decennier av utveckling är ett stort hinder för en bredare tillämpning av YPK inom kvalitetssäkring bristen på konsekvent tillförlitliga korrelationer mellan YPK-värden och konventionella punktprov såsom E_{v2} från PLT. Publicerade studier rapporterar vitt skilda resultat, eftersom YPK-värden inte bara påverkas av jordens egenskaper (t.ex. modul, fuktkvot) utan även av driftparametrar (vibrationsamplitud, frekvens, körhastighet), maskinegenskaper (massa, valsgeometri) samt skillnader i influensdjup mellan mätmetoderna. Dessa komplexiteter gör det svårt att jämföra YPK-värden eller att generalisera kalibreringsmetoder över olika arbetsplatser och maskiner. Byggbranschen – särskilt i Sverige där stora infrastrukturinvesteringar i järnväg och väg kräver effektiv och tillförlitlig kvalitetssäkring – skulle därför ha stor nytta av en systematisk undersökning som isolerar och kvantifierar dessa påverkande faktorer.

1.1 Syfte

Syftet med detta forskningsprojekt var att systematiskt utvärdera och förbättra korrelationerna mellan YPK-mätningar och PLT-resultat. Det slutgiltiga målet är att utveckla YPK-tekniken till en sådan tillförlitlighetsnivå att byggbranschen kan minska eller helt eliminera sitt beroende av långsamma punktprov för kvalitetssäkring. De specifika målen var att:

- Utvärdera hur PLT-plattans diameter och typen av vält styr styrkan och tillförlitligheten i korrelationerna mellan YPK-värden och E_{v2} .
- Genomföra en omfattande bedömning av en bred uppsättning existerande YPK-värden för att identifiera vilka kategorier som är mest lämpade för kvalitetssäkring.
- Ge praktiska rekommendationer för val av utrustning och kalibreringsrutiner som geotekniker och entreprenörer kan tillämpa.

1.2 Omfattning

Forskningsaktiviteterna i projektet omfattade följande:

- En genomgång av det aktuella forskningsläget gällande kvalitetssäkring av packning, för att identifiera viktiga kunskapsluckor.
- Utformning och genomförande av fem packningsförsök i fullskala i en kontrollerad laboriemiljö.
- Totalt 116 plattbelastningsförsök, vilket gav en statistiskt säkerställd datamängd för regressionsanalys.
- Beräkning av sexton olika YPK-värden inom olika kategorier baserat på samma accelerometerdata.
- Statistisk analys för att utvärdera inbördes samband mellan olika YPK-värden.
- Systematisk utvärdering av hur plattans diameter och typ av vält påverkar korrelationen mellan YPK-värden och E_{v2} .

1.3 Avgränsningar

Följande avgränsningar gäller för studien:

- Försöken utfördes på ett välgraderat krossat grus (representativt för svensk bankfyllning) vid naturlig fuktkvot (cirka 3 %). Andra jordtyper (t.ex. kohesionsjord) och fuktförhållanden ligger utanför ramarna för etapp 1.
- Två modeller av vibrationsvältar testades, båda från samma tillverkare (Dynapac), för att representera ett betydande spann av statiska linjelaster. Vältar från andra tillverkare eller med fundamentalt annorlunda design (t.ex. oscillerande vältar) utvärderades inte.
- Undersökningen begränsades till vibrationspackning med hög amplitud och en fast vibrationsfrekvens på 24 Hz. Effekterna av att variera amplitud, frekvens eller körhastighet utvärderades inte systematiskt i detta skede.
- Referensmetoden för punktprov var det statiska plattbelastningsförsöket (PLT), med E_{v2} som primärt styvhetsmått, vilket överensstämmer med vanlig praxis för kvalitetskontroll. Andra punktprov, såsom fallviktsmätning (FWD), dynamisk penetrometer (DCP) eller densitetsbaserade tester inkluderades inte.
- Fokus ligger på kalibrering och korrelation. Implementering eller utformning av acceptanskrav betraktas som framtida arbete.

2. Kort litteraturöversikt

YPK-tekniken föreslogs ursprungligen i Sverige av Forssblad (1980) samt Thurner och Sandström (1980), som introducerade konceptet att använda accelerometersignaler från valsen för att bedöma packningskvaliteten. Sedan dess har många YPK-värden utvecklats. Dessa kan delas in i tre huvudkategorier:

- Accelerationsbaserade YPK-värden härleds från tids- och frekvensdomänegenskaper hos valsens vertikala accelerationssignal. Compaction Meter Value (CMV) var det första som föreslogs och är fortfarande det mest använda. Det definieras som förhållandet mellan amplituden hos den

andra övertonen och grundfrekvenskomponenten. Varianter som compaction control value (CCV) och total harmonic distortion (THD) inkorporerar ytterligare övertons- och subharmoniska komponenter. Dessa index är enkla att implementera, men de är känsliga för maskininställningar såsom vibrationsamplitud och frekvens.

- Mekanikbaserade YPK-värden härleds från interaktionen mellan vals och jord via hystereskurvan för kontaktkraft och förskjutning. Dessa inkluderar den vältintegrerade styvheten k_s och vibrationsmodulen E_{vib} . Dessa index har en tydligare fysisk innebörd och är närmare relaterade till de komprimerade jordarnas mekaniska egenskaper. E_{vib} kan förfinas ytterligare för att skilja mellan lastnings- och avlastningsfaserna inom en vibrationscykel (E_{vib1} respektive E_{vib2}).
- Energibaserade YPK-värden inkluderar OMEGA, definierad som arean under hystereskurvan för kraft och förskjutning, samt machine drive power (MDP), som representerar den drivenergi som krävs för att övervinna rullmotståndet. På senare tid har även nya YPK-värden baserade på avancerad signalanalys, såsom compaction energy value (CEV) och dissipation measured value (DMV) introducerats, men dessa har ännu inte verifierats fullt ut.

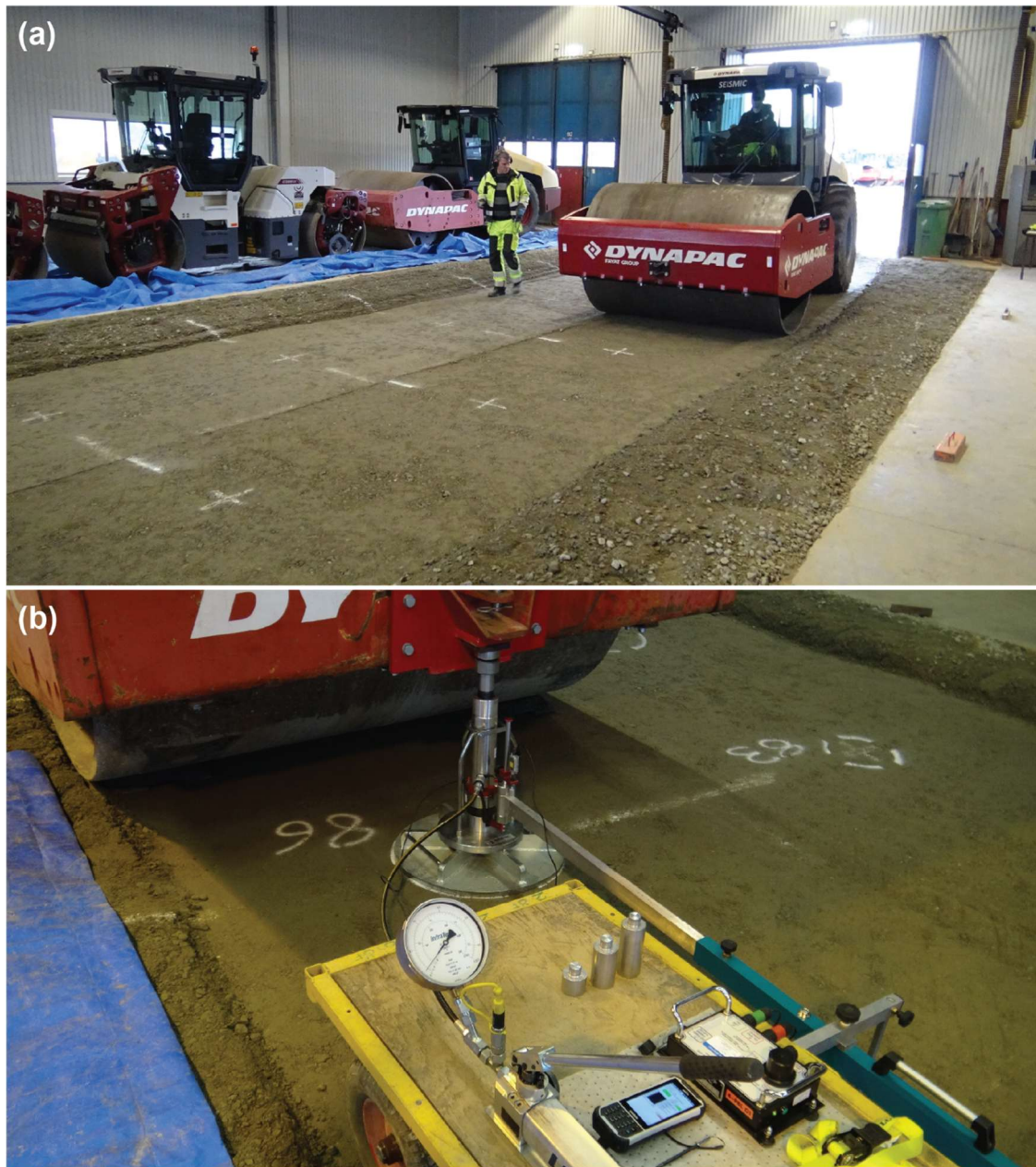
Även om många studier har försökt korrelera YPK-värden med konventionella punktprov, visar litteraturen att ingen universellt tillförlitlig korrelation har kunnat fastställas (Hua et al., submitted). En grundläggande utmaning bakom dessa inkonsekvenser är skillnaden i influensdjup mellan mätmetoderna. En vibrationsvält påverkar jorden till ett djup av cirka 1–2 m över en valsbredd på cirka 2 m, beroende på vikt och driftinställningar. Som en jämförelse påverkar en 300 mm PLT-platta endast cirka 0,6–0,9 m av jorden. Dessutom överstiger det maximala trycket som appliceras vid PLT (500 kPa för en 300 mm-platta) de dynamiska spänningarna under vibrationspackning, vilket introducerar effekter av spänningsberoende. Slutligen mäter YPK en dynamisk interaktion, medan PLT mäter en statisk respons, vilket är en fundamental skillnad som försvårar jämförelser.

Sammanfattningsvis visar litteraturen att även om YPK-tekniken är mycket lovande, har dess användning för formell kvalitetssäkring begränsats av inkonsekventa korrelationer med punktprov, en otillräcklig förståelse för inbördes samband mellan de många föreslagna YPK-värdena, samt brist på systematiska undersökningar under kontrollerade förhållanden. Detta projekt adresserar dessa kunskapsluckor.

3. Metod

3.1 Försöksupplägg

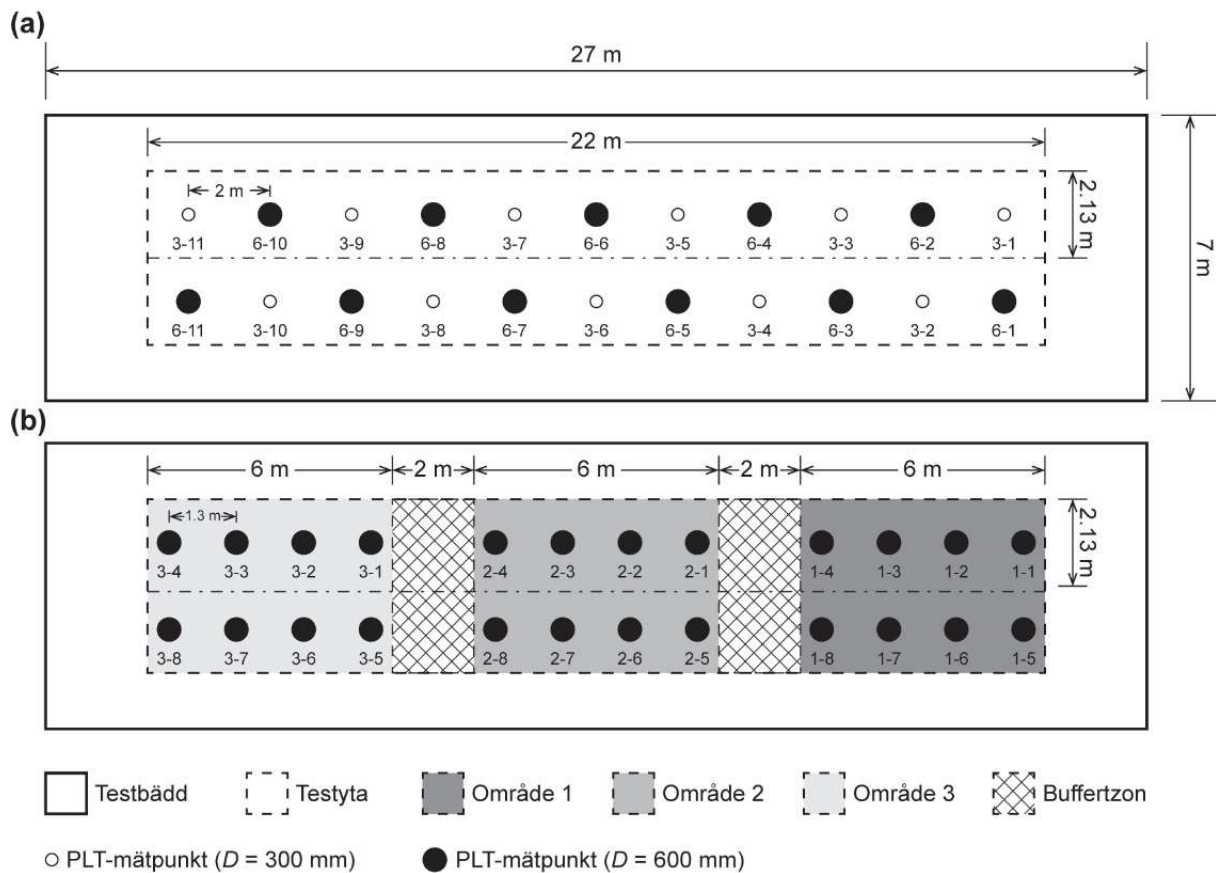
Fem försök genomfördes i Dynapacs packningslaboratorium i Karlskrona. Testbädden var en bottenlös tank på 27 m × 7 m, avgränsad av vertikala betongväggar (se Figur 1). Den packade ytan delades in i två intilliggande testfiler, vardera 22 m långa och 2,13 m breda, vilket överensstämde valsens bredd. För utvalda försök delades ytan vidare in i tre delområden, separerade av 2 m breda buffertzoner (se Figur 2).



Figur 1. (a) Testbädd och vält i drift, (b) Statiskt plattbelastningsförsök med välten som motvikt.

I början av varje försök luckrades jorden upp till cirka 0,7 m djup och avjämnades manuellt till en enhetlig yta. Det underliggande, välpackade fyllnadsmaterialet lämnades orört. Efter en förberedande statisk överfart vid 1 m/s markerades positionerna för PLT. I varje försök applicerades sedan ett bestämt antal vibrationsöverfarter (N) följt av två statiska överfarter. PLT utfördes cirka 24 timmar senare för att tillåta konditionering av jorden. Totalt utfördes 116 plattbelastningsförsök.

I försök 1 och 2 användes $N = 6$, och PLT växlade mellan 300 mm- och 600 mm-plattor med 2 m mellanrum. Detta gjordes för att jämföra plattstorleken effekt samtidigt som avståndet mellan mätpunkterna maximerades. Varje plattstorlek gav 11 mätvärden per försök.



Figur 2. Testuppställning för olika försök: (a) Försök 1–2, (b) Försök 3–5.

I försök 3, 4 och 5 användes enbart 600 mm-plattan med ett tätare avstånd på 1,3 m. Antalet vibrationsöverfarter varierades över tre delområden $N = 2, 4$ och 8) för att fånga upp ett brett spektrum av packningstillstånd. I försök 3 utelämnades de avslutande statistiska överfarterna i ett av delområdena för att utvärdera deras inverkan.

3.2 Material och utrustning

Jord: Testmaterialet var ett välgraderat krossat grus, representativt för svensk bankfyllning, med en maximal partikelstorlek på 32 mm, en ojämnhetsgrad $C_u = 107$, sorteringsgrad $C_c = 1,5$, kompaktdensitet $G_s = 2,7$, och en maximal torrdensitet på 2230 kg/m³. Den naturliga fuktkvoten låg på cirka 3 % och hölls stabil under hela testperioden.

Vältar: Två envals vibrationsvältar från Dynapac (CA3500D och CA6500D) användes för att kontrastera packningsförmågan. Alla vibrationsöverfarter utfördes med hög amplitud och en reducerad vibrationsfrekvens på 24 Hz. Se Hua et al. (2025, 2026) för detaljerade driftparametrar.

- CA3500D (lättare): 13,8 tons arbetsvikt, 36 kg/cm statisk linjelast.
- CA6500D (tyngre): 21 tons arbetsvikt, 65 kg/cm statisk linjelast.

Mätningarna baserades på en biaxiell accelerometer monterad på valsen, där signalerna registrerades med en samplingsfrekvens på 2 kHz. En manuell triggerpuls användes för att exakt lokalisera varje PLT-position i data.

PLT: Cirkulära stålplattor med diametrar på 300 mm och 600 mm användes. Välten fungerade som motvikt (Trafikverket 2014). E_{v2} användes som det primära styvhetsmåttet i enlighet med gängse praxis för kvalitetssäkring.

3.3 YPK-värden

Sexton YPK-värden beräknades från samma accelerometerdataset och delades in i tre kategorier (Hua et al., submitted):

- Accelerationsbaserade: CMV, AICV, CCV, THD, F_t och CF. Dessa härleds från tids- och frekvensdomänegenskaper hos den vertikala accelerationssignalen.
- Mekanikbaserade: Vältintegrerad styvhet (k_s , med undervarianter k_1 , k_2 , k_b för lastning, avlastning och hel cykel) samt vibrationsmodul (E_{vib} , med undervarianter E_{vib1} , E_{vib2} för lastnings- respektive avlastningsfas).
- Energibaserade: CEV, DMV, OMEGA och E.

3.4 Analysmetoder

Analyserna omfattade:

- Bedömning av deskriptiv statistik (spridning, variabilitet, dynamiskt omfång) för alla YPK-värden.
- Analys av korrelationer mellan YPK-värden, inklusive hierarkisk klustring med hjälp av Spearmans korrelationskoefficient samt principalkomponentanalys (PCA), för att identifiera redundans och tydliga grupperingar.
- Linjär regression mellan utvalda YPK-värden och E_{v2} , separat för varje plattstorlek och välttyp, för att kvantifiera hur dessa faktorer påverkar korrelationsstyrkan, känsligheten och grundstyvheten.

Den kontrollerade experimentella utformningen säkerställer att observerade skillnader i första hand återspeglar effekter från platta och vält, snarare än okontrollerad heterogenitet på arbetsplatsen, vilket är en avgörande fördel jämfört med fältstudier.

4. Exempel på resultat och praktiska implikationer

4.1 PLT-plattans storlek

600 mm-plattan gav något lägre E_{v2} -värden än 300 mm-plattan, medan E_{v1} i princip förblev opåverkad av plattans diameter (se Tabell 1). Trots de lägre E_{v2} -värdena producerade 600 mm-plattan konsekvent starkare korrelationer mellan YPK-värden och E_{v2} .

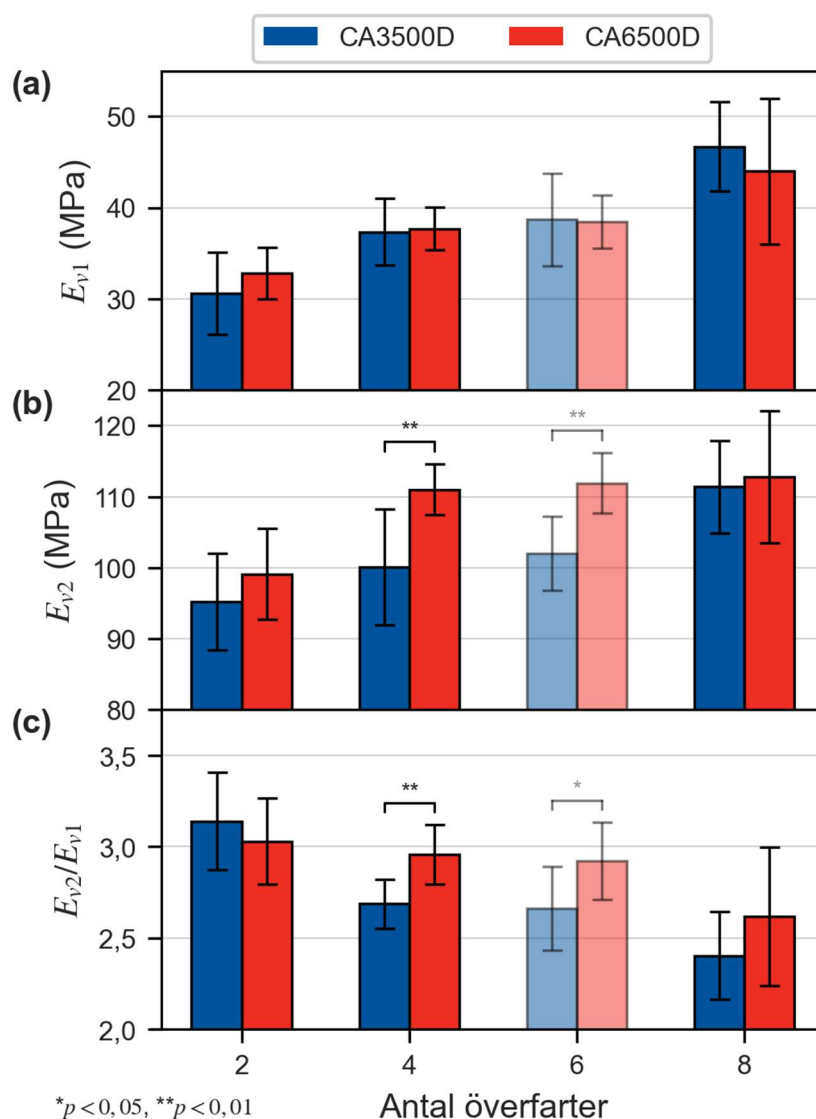
När YPK ska kalibreras mot PLT kan en större platta ge ett mer robust kalibreringssamband. Detta beror sannolikt på att den större plattans influensdjup bättre överensstämmer med vältens effektiva mätdjup.

Tabell 1. Sammanställning av PLT-mätvärden för 300 mm- och 600 mm-plattor.

Mätvärde	D (mm)	E_{v1} (MPa)		E_{v2} (MPa)		E_{v2}/E_{v1} (-)	
		CA3500D	CA6500D	CA3500D	CA6500D	CA3500D	CA6500D
Medelvärde	300	39,3	38,8	109,6	117,7	2,8	3,0
	600	38,7	38,5	102,1	111,9	2,7	2,9
Variations- koefficient	300	8%	6%	6%	6%	7%	4%
	600	13%	8%	5%	4%	9%	7%

4.2 Välttypens och antal överfarters betydelse

Den tyngre välten, CA6500D, uppnådde generellt ett högre E_{v2} med lägre variabilitet vid ett måttligt antal överfarter (se Figur 3), vilket återspeglar en bättre packningsförmåga. Vid ett stort antal överfarter observerades en ökad variabilitet, vilket indikerar att en hög energitillförsel inte med automatik översätts till bättre kalibrerade mätningar.



Figur 3. Variation av PLT-resultat med antal överfarter för båda vältarna: (a) E_{v1} , (b) E_{v2} , och (c) E_{v2}/E_{v1} .

Valet av vält för YPK-baserad kvalitetssäkring bör inte enbart baseras på förmågan att snabbt uppnå styvhet, utan även på dess förmåga att producera stabila och tolkningsbara mätsignaler.

4.3 Vilka YPK-värden korrelerar bäst?

Många YPK-värden korrelerade starkt med varandra och kunde grupperas i tre kluster. Detta innebär att det sannolikt inte skapar något mervärde att övervaka ett stort antal olika index samtidigt.

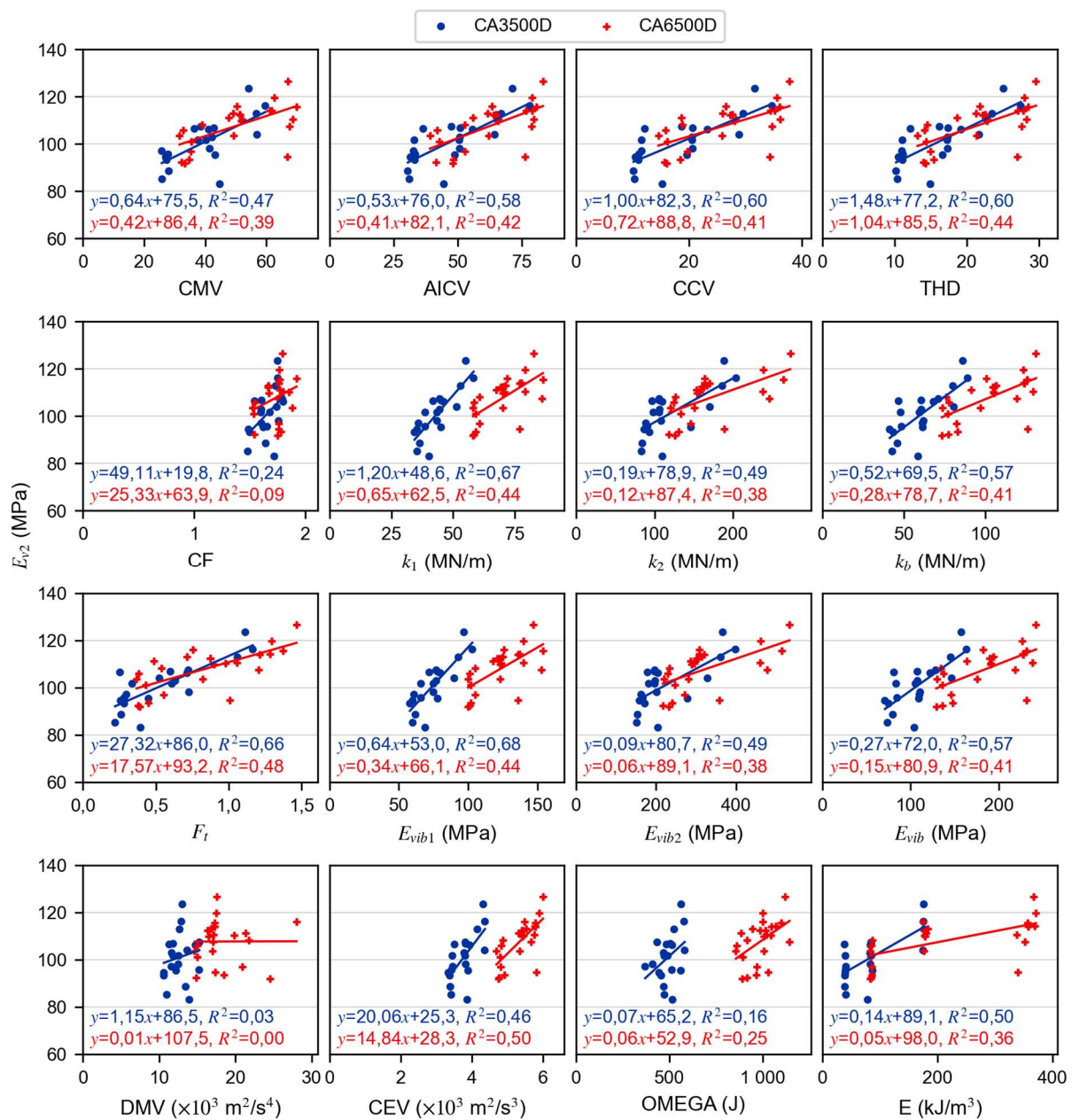
Mekanikbaserade indikatorer, särskilt E_{vib} , visade den starkaste korrelationen med E_{v2} (uppmätta värden för $R > 0,8$ under de testade förhållandena), medan energibaserade index generellt var mindre lämpliga (se Figur 4).

För kalibrering och användning inom QA rekommenderas att man fokuserar på en liten uppsättning fysiskt tolkningsbara och representativa indikatorer (t.ex. en från varje kluster), med prioritet för mekanikbaserade index där det är praktiskt genomförbart.

5. Slutsatser och framtida arbete

De huvudsakliga slutsatserna från detta forskningsprojekt är:

- PLT-plattans diameter spelar roll för kalibreringen. 600 mm-plattan gav konsekvent förbättrade korrelationer med YPK-mätningarna jämfört med standardplattan på 300 mm. Det rekommenderas att man använder större plattor vid kalibrering av YPK-system när det är praktiskt möjligt.
- Välttyper påverkar avsevärt både packningseffektiviteten och korrelationskvaliteten. Tyngre vältar bygger upp styvheten snabbare men kan introducera större variabilitet och ge svagare korrelation.
- Mekanikbaserade YPK-värden är mest tillförlitliga för styvhetsbaserad kvalitetssäkring. Vibrationsmodulen E_{vib} uppvisade den starkaste korrelationen med E_{v2} . Harmonisk-baserade YPK-värden (t.ex. CMV) utgör ett praktiskt alternativ med jämförbara korrelationer. Energibaserade YPK-värden var minst lämpliga under de testade förhållandena.
- Befintliga YPK-värden uppvisar betydande redundans. De sexton YPK-värden som studerades kan grupperas i tre tydliga kluster. För en praktisk kalibrering är valet av en representativ indikator per kluster en väl motiverad strategi som minskar komplexiteten samtidigt som kompletterande information bibehålls.
- Maskinspecifik kalibrering är fortsatt nödvändig. Även under strikt kontrollerade förhållanden påverkade vältens egenskaper allvarligt lutningen och skärningspunkten för korrelationssambanden mellan YPK-värdena och E_{v2} . Något universellt, maskinoberoende tröskelvärde existerar ännu inte.



Figur 4. Korrelation mellan E_{v2} och olika YPK-värden för båda välttyperna.

Framtida forskningsetapper kommer att fokusera på:

- Undersökning av packningsparametrarnas inverkan på mätdata. Hur variationer i vibrationsamplitud, frekvens och körhastighet påverkar YPK-värdena kräver en systematisk studie för att identifiera optimala inställningar för "provvältning" – inställningar som maximerar korrelationen med PLT och samtidigt bibehåller packningskvaliteten.
- Utveckling av maskinoberoende YPK-värden. Den primära utmaningen för att föra YPK-tekniken framåt ligger i att utveckla indikatorer som är generellt

tillämpbara över olika jordförhållanden och maskintyper. Framtida arbete bör prioritera fysikaliskt tolkningsbara mätvärden som direkt fångar interaktionen mellan vals och jord samt energidissipationsmekanismer.

- Kopplad MBD- och FEM-modellering. Eftersom det är opraktiskt att testa alla möjliga kombinationer av packningsparametrar i verkliga experiment, kan en kopplad modell bestående av flerkroppsdynamik (MBD) och finita element (FEM) generera en robust databas för maskininlärning och möjliggöra rigorösa tester av nya YPK-värden.

Referenser

Forssblad, L. (1980). Compaction meter on vibrating rollers for improved compaction control. Proc. Int. Conf. Compaction, Vol. 2, Paris, France, pp. 541–546.

Turner, H., & Sandström, Å. (1980). A new device for instant compaction control. Proc. Int. Conf. Compaction, Vol. 2, Paris, France, pp. 611–614.

Hua, W., Persson, A., Akesson, F., Wersäll, C., Larsson, S. (submitted). Correlating continuous compaction measurement to plate load tests for quality assurance. Transportation Geotechnics.

Hua, W., Wersäll, C., Larsson, S. (2025). Packningskontroll för framtiden: Modern teknik i stället för långsamma försök. Bygg & teknik, 1/25, 24–27.

Hua, W., Wersäll, C., Persson, A., Larsson, S. (2026). Mot tillförlitlig yttäckande packningskontroll – Lärdomar från fullskaleförsök. Grundläggningdagen 12 Mars 2026.

Trafikverket. (2014). Bestämning av bärighetsegenskaper med statisk plattbelastning. TDOK 2014:0141, Version 1.0, Borlänge, Sweden.