



Packning av bank för höghastighetsjärnväg

Sammanfattande slutrapport

Datum: 2020-02-14

Upprättad av: Carl Wersäll, KTH Avd. Jord- och Bergmekanik

Innehållsförteckning

1	<i>Bakgrund och syfte</i>	3
2	<i>Nomenklatur och begrepp</i>	4
3	<i>Fältförsök</i>	6
3.1	Etapp 1	6
3.2	Etapp 2.....	8
3.3	Begränsningar.....	10
4	<i>Slutsatser och rekommendationer</i>	12
4.1	Packning allmänt	12
4.2	Packning vid resonansfrekvens	13
4.3	Genomförande av fältförsök.....	15
4.4	Övriga rekommendationer	15

1 Bakgrund och syfte

Denna slutrapport sammanfattar resultat, slutsatser och rekommendationer från forskningsprojektet ”Packning av bank för höghastighetsjärnväg” som har utförts vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Avd. Jord- och Bergmekanik, och finansierats av Branschsamverkan i Grunden (BIG A2016-3), Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF 13317), PEAB AB och KTH. Kostnader för utförande av fältförsök (entreprenad- och mätkostnader) har finansierats av Trafikverket och Dynapac Compaction Equipment AB.

Huvuddelen av projektet har varit två fältförsök – Etapp 1 (2017) och Etapp 2 (2018). Dessa försök har redovisats detaljerat i två rapporter:

- Packningsförsök vid Kardonbanan – Resultat från Etapp 1, 2018-05-28, Carl Wersäll.
- Packningsförsök vid Kardonbanan – Resultat från Etapp 2, 2020-02-01, Carl Wersäll

Målsättningen med forskningsprojektet var att ge rekommendationer för hur bankar för höghastighetsjärnväg ska packas för att minimera nedbrytning, omlagring och sättningar i driftskedet. Parametrar som har studerats innefattar frekvens, lagertjocklek, antal överfarter och materialfraktion. Projektet har även haft som målsättning att ge rekommendationer för hur en provpackning bör utföras.

I projektet testades även en ny packningsmetod, benämnd automatisk frekvensstyrning, AFC (Automatic Frequency Control). Denna bygger på resultat från ett doktorandprojekt där vibrationsfrekvensens inverkan på packningsresultatet studerades. Slutsatsen blev att vältjordsystemets resonansfrekvens är den mest optimala packningsfrekvensen, vilket innebär en påtaglig minskning av frekvensen jämfört med konventionell packning. Inför detta forskningsprojekt utvecklades en prototypvält i samarbete med välttillverkaren Dynapac som automatiskt och kontinuerligt anpassar frekvensen så att resonans uppstår. Denna teknik utgör AFC-systemet.

2 Nomenklatur och begrepp

Nedan förklaras nomenklatur och begrepp som används i denna rapport,

AFC	Automatisk frekvensstyrning (Automatic Frequency Control). En ny packningsmetod som innebär att valsens vibrationsfrekvens automatiskt och kontinuerligt varierar så att resonans uppkommer i vält-jordsystemet.
Amplitud	<p>Med amplitud menas i packningssammanhang förskjutningsamplitud, som är den maximala förskjutningen av valsen i varje vibrationscykel.</p> <p>Den nominella amplituden, som är en maskinparameter och den amplitud som skulle erhållas om valsmodulen var fritt hängande i luften, måste särskiljas från den faktiska amplituden, som beror på beteendet av det dynamiska systemet, inklusive underlagets egenskaper och vibrationsfrekvensen.</p> <p>Vibrationsvältar kan normalt packa med ”hög amplitud” eller ”låg amplitud”. Excentermassans i valsen (en excentrisk massa som vid rotation skapar vibrationerna) är utformad så att excentermomentet (massan multiplicerad med tyngdpunktens avstånd från rotationscentrum) beror på rotationsriktningen. Vid rotation i en riktning fås ett stort excentermoment och således en stor centrifugalkraft och stor amplitud. Rotation i motsatt riktning ger ett lägre excentermoment, en lägre centrifugalkraft och en lägre amplitud.</p> <p>Välttillverkare tillhandahåller normalt den höga nominella amplituden och den låga nominella amplituden samt centrifugalkraften vid maximal frekvens.</p>
Centrifugalkraft	Centrifugalkraften är den kraft som skapas i valsen av den roterande massan och ska inte förväxlas med kontaktkraften mellan valsen och underlaget (som beror på det dynamiska systemets egenskaper). Centrifugalkraften är starkt frekvensberoende och ökar i kvadrat med frekvensen.
Dubbelhopp	Packningen beror på kontaktförutsättningarna mellan valsen och underlaget, som i sin tur beror på centrifugalkraften, valsmodulens massa och underlagets styvhet. Vid en låg eller måttlig belastning har valsen kontinuerlig kontakt med underlaget. Då belastningen och/eller styvheten ökar fås en period i varje belastningscykel då valsen släpper kontakten med underlaget. Detta är det mest effektiva tillståndet med avseende på packningen. När underlagets styvhet ökar till följd av packning så kan s.k. dubbelhopp (eller ”bouncing”) uppstå, vilket innebär, förenklat, att tidsperioden då valsen släpper kontakt med underlaget är längre än en belastningscykel. Detta ska undvikas eftersom det påverkar packningen negativt och orsakar stort slitage på maskinen. Därför har många vältar ett automatiskt system som antingen stänger av vibrationerna eller varnar föraren då dubbelhopp uppkommer.

E_{v2}	Vid statiska plattbelastningsförsök belastas en platta i två cykler. Den andra belastningscykeln anses vara mest relaterad till materialets styvhet. E_{v2} är elasticitetsmodulen som erhålls i den andra belastningscykeln och den som ofta används för att representera packningen.
Frekvens	Antal svängningar per tidsenhet eller rotationer per tidsenhet. Frekvens uttrycks vanligtvis i Hz (svängningar per sekund), alternativt rpm eller cpm (svängningar per minut).
Frekvensstyrning	Se AFC
Packmätarvärde	Se YPK
Resonansfrekvens	Alla dynamiska system är frekvensberoende, vilket betyder att de har olika egenskaper vid olika frekvenser. Det finns (minst) en frekvens i alla system där förskjutningarna blir förstärka vid dynamisk belastning – resonansfrekvensen. Resonansfrekvensen är mycket nära den s.k. egenfrekvensen (eller den naturliga frekvensen), vilken är den frekvens där systemet svänger utan periodisk belastning (jmf. en pendel som får svänga fritt). Vid resonans är belastningen av en sådan frekvens att rörelsen i varje cykel förstärks (jmf. en gunga).
Statisk linjelast	Valsmodulens (valse och ramen) vikt dividerad med valsens bredd, dvs. det statiska kontakttrycket mellan valse och underlaget per längdenhet,
Vals	Den cylinderformade delen av välten som packar jorden genom att vibrera med hjälp av en roterande excentrisk massa.
YPK	Yttäckande packningskontroll (YPK) bygger på en inbyggd accelerometer i valse och mätning av excentermassans läge i kombination med GPS. Med hjälp av dessa beräknas ett s.k. packmätarvärde, som till viss del är kopplat till underlagets styvhet och som därför kan användas för att bedöma styvhetstillväxten under packningen. Mätningarna sker kontinuerligt och över hela ytan. De vanligaste packmätarvärdena är Compactometervärdet (CMV) som bygger på en frekvensanalys av accelerationssignalen och E_{vib} som beräknar en modul utifrån ett last-deformations samband. YPK är också ett verktyg för att kontrollera antalet överfarter.
Ytmodul	En modul som beräknas vid fallviktsförsök med tung fallvikt och som beror på belastningen och plattans deflektion.
Ytvågsseismik	Genom att inducera dynamiska ytvågor i banken och mäta vibrationerna på olika avstånd kan vågfarten vid olika frekvenser bestämmas, vilket ger information om bankmaterialets styvhet.

3 Fältförsök

Försöken utfördes i anslutning till bygget av Kardonbanan på Malmölandet norr om Norrköping. Etapp 1 utfördes under hösten 2017 och Etapp 2 under hösten 2018. I båda fältförsöken användes en enkelvalsvalt av modell Dynapac CA6500D med statisk linjelast 65 kN/m och totalvikt 20 900 kg (Figur 1). Välten var utrustad med AFC och kunde även packa konventionellt med en fast frekvens. Den fasta frekvensen var 28 Hz vid hög amplitud och 33 Hz vid låg amplitud. Med frekvensstyrning var arbetsintervallet 17-28 Hz vid hög amplitud och 17-33 Hz vid låg amplitud. Undergrunden på försöksplatsen bestod av grusig siltig morän och sandig siltig morän med en finjordshalt runt 30 %.



Figur 1. Dynapac CA6500D med frekvensstyrning.

3.1 Etapp 1

I Etapp 1 anlades 14 provytor (låga bankar) med ett skikt på terrassen. Syftet var att studera inverkan av lagertjocklek, materialfraktion och frekvensstyrning. Tre olika material användes.

- Krossmaterial för förstärkningslager 0-150 mm enligt AMA DCH.15.
- Grovkrossad sprängsten 0-250 mm enligt AMA CEB1113/1 med tillägg: största stenstorlek 250 mm.
- Lokal siltmorän från Norrköping med en finjordshalt av ca 20 %.

Provytorna anlades i tre olika tjocklekar – 0,3 m, 0,5 m, och 1 m. Förutom den grövsta materialfraktionen i kombination med den minsta tjockleken anlades alla kombinationer av lagertjocklek och material. För alla kombinationer anlades två provytor – en som packades konventionellt med en fast frekvens och en som packades med frekvensstyrning (AFC). Figur 2 visar de färdigställda provytorna. Varje yta packades centrerat i ett stråk för att lättare kunna kvantifiera packningsresultatet (Figur 3).



Figur 2. Provytor, Etapp 1.



Figur 3. Packning av provytor, Etapp 1.

Packning gjordes i 32 överfarter på varje provyta. Följande mätningar gjordes för att kvantifiera packningen:

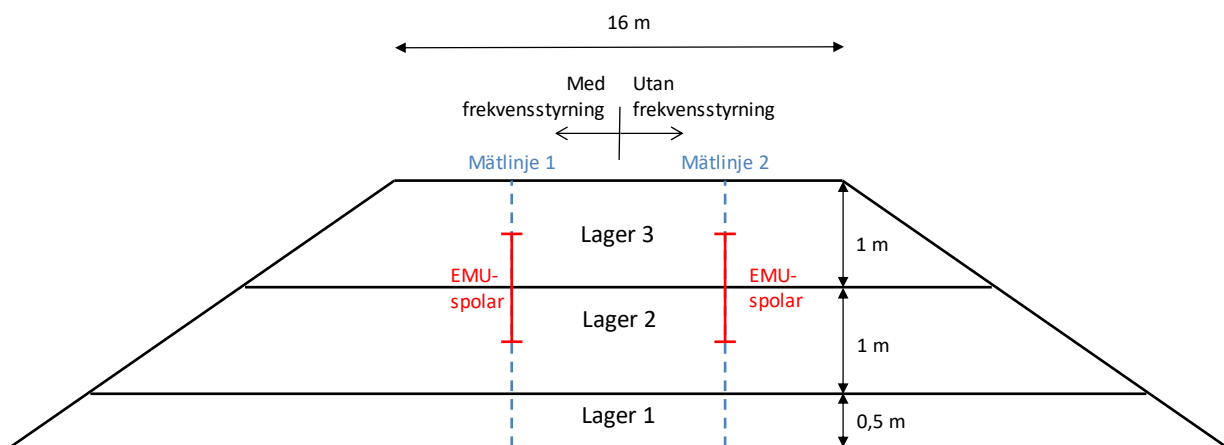
- Integrerade välmätningar (accelerometrar, excenterläge, GPS) för att beräkna parametrar som packmåtarvärden, amplitud och kontaktkraft. Mätningarna gjordes kontinuerligt i alla överfarter.
- Sättningsmätning på överytan efter 0, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24 och 32 överfarter.

- Djupberoende deformationsmätning i bankarna med EMU-spolar. Avläsning gjordes efter 0, 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24 och 32 överfarter.
- Statiska plattbelastningsförsök utfördes efter 8 och 32 överfarter.
- Fallviktsförsök med tung fallviktsapparat utfördes efter 32 överfarter.
- Seismiska försök i form av ytvågsseismik och direkt P-vågsmätning gjordes efter 8 och 32 överfarter.

För en utförlig beskrivning av genomförande, mätningar och resultat hänvisas till rapporten ”Packningsförsök vid Kardonbanan – Resultat från Etapp 1”.

3.2 Etapp 2

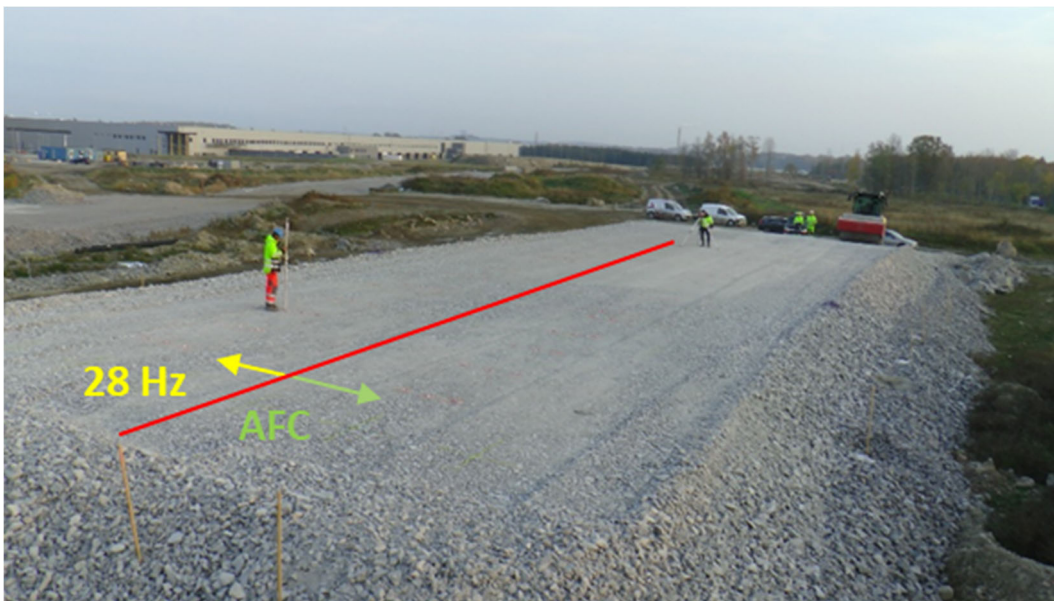
I Etapp 2 användes erfarenheterna från Etapp 1 för att anlägga en 2,5 m hög provbank i tre lager med realistisk bankuppbyggnad. Till skillnad från i Etapp 1 packades banken över hela dess yta, där halva banken packades konventionellt med en fast frekvens och den andra halvan packades med frekvensstyrning. För att kontrollera antalet överfarter framfördes välten i fördefinierade stråk. Det nedersta lagret hade en tjocklek på 0,5 m och hade till syfte att ge ett fast välpackat underlag till de övre lagren. Lager 2 hade en tjocklek på 1 m och överytan delades in i 8 packningsstråk. Lager 3 hade en tjocklek på 1 m och 6 packningsstråk. Alla mätningar gjordes längs två mätlinjer – en för varje packningsmetod. En skiss över banken visas i Figur 4 och den färdigställda banken visas i Figur 5. Figur 6 visar indelningen mellan konventionell packning och frekvensstyrning.



Figur 4. Försöksuppställning, Etapp 2 (ej skalenlig).



Figur 5. Provbänk, Etapp 2.



Figur 6. Packning konventionellt (28 Hz) och med frekvensstyrning (AFC).

Banken byggdes av förstärkningslagermaterial 0-150 mm enligt AMA DCH.15. Lager 1 packades med hög amplitud till dess att ingen tillväxt erhöles i packmätarvärden, vilket resulterade i 18 överfarter, och sedan i 6 överfarter med låg amplitud. Lager 2 packades i 22 överfarter med hög amplitud. Den delen av Lager 3 där fast frekvens användes packades med hög amplitud till dess att dubbelhopp uppstod på större delen av banken, vilket resulterade i 26 överfarter. Vid användande av AFC uppstod inte dubbelhopp och den delen av banken packades i 40 överfarter med hög amplitud. Avslutningsvis packades hela banken i 8 överfarter med låg amplitud och sedan i 4 statiska överfarter (med vibrationer avslagna). Följande mätningar gjordes i Etapp 2:

- Integrerade vältmätningar (accelerometer, excenterläge, GPS) för att beräkna parametrar som packmätarvärden, amplitud och kontaktkraft. Mätningarna gjordes kontinuerligt i alla överfarter.
- Sättningsmätning på överytan:
 - På Lager 1 efter avslutad packning
 - På Lager 2 efter 0, 2, 4, 8, 12, 16 och 22 överfarter.
 - På Lager 3 efter 0, 2, 4, 8, 12, 16, 22 och 26 överfarter. På bankdelen som packades med AFC även efter 34 och 40 överfarter.
- Djupberoende deformationsmätning i banken med EMU-spolar. Givarna var installerade i övre halvan av Lager 2 och nedre halvan av Lager 3.
 - I Lager 2, avläsning efter 0, 2, 4, 8, 12, 16, 22 och 26 överfarter.
 - I Lager 3, avläsning efter 0, 2, 4, 8, 12, 16, 22 och 26 överfarter. På bankdelen som packades med AFC även efter 34 och 40 överfarter.
- Statiska plattbelastningsförsök
 - På Lager 2 efter 22 överfarter.
 - På Lager 3 efter 8, 12 och 22 överfarter samt efter avslutad packning (inklusive låg amplitud och statiska överfarter).
- Fallviktsförsök med tung fallviktsapparat utfördes på Lager 3 efter 8, 12, 22 och 26 överfarter. På bankdelen som packades med AFC även efter 40 överfarter. Ytterligare försök gjordes efter 8 överfarter med låg amplitud samt efter 4 statiska överfarter.
- Dynamiska vertikalspänningsmätningar med jordtrycksceller gjordes i alla överfarter mellan Lager 1 och Lager 2, mellan Lager 2 och Lager 3, samt mitt i Lager 3.

För en utförlig beskrivning av genomförande, mätningar och resultat hänvisas till rapporten ”Packningsförsök vid Kardonbanan – Resultat från Etapp 2”.

3.3 Begränsningar

Nedanstående begränsningar i de genomförda fältförsöken bör beaktas vid tolkning av slutsatser och resultat.

- Försöken utfördes endast med en vält med statisk linjelast 65 kN/m. Mindre vältar har använts vid tidigare försök, men dessa utfördes ej på bankar i fält.
- Endast två fraktioner av krossmaterial undersöktes.
- Krossmaterialet i båda försöken kom från samma täkt. Inverkan av bergkvalitet har inte undersökts.

- Vid mätningar i fält föreligger stora osäkerheter och en stor spridning i mätresultat. Trots en stor mängd mätningar finns osäkerheter som härrör från aspekter såsom väder, materialvariation, utförande och mätosäkerhet.

4 Slutsatser och rekommendationer

För en detaljerad beskrivning av mätresultat hänvisas till rapporterna för respektive etapp. I detta avsnitt presenteras de slutsatser och rekommendationer som har utarbetats från en sammanvägning av alla mätresultat. I vissa fall har mätresultat varit svårtolkade då osäkerheter alltid uppstår vid försök i fält. Tack vare en stor mängd mätningar kunde dock trender och entydigheter identifieras, som har omsatts i nedanstående slutsatser.

4.1 Packning allmänt

1. I dessa försök användes en vibrationsvält med den statiska linjelasten 65 kN/m. Med denna vält och hög amplitud uppnås för krossmaterial ett resultat som är nära den maximala packningspotentialen i ca:
 - a. 18-24 överfarer för en lagertjocklek på 1 m.
 - b. 12-16 överfarer för en lagertjocklek på 0,5 m.
2. Ytterligare packning är möjlig. Dock krävs ett stort antal överfarer för att ge en betydande förbättring.
3. Vid en hög frekvens är risken för uppluckring i ytan stor, särskilt vid ett stort antal överfarer. Uppluckringen är mer påtaglig och sker vid ett lägre antal överfarer för tunnare skikt. Genom att packa vid resonansfrekvensen kan uppluckring undvikas.
4. Avvägning mellan önskad packningsgrad och risk för uppluckring bör göras med avseende på lagertjocklek och frekvens.
5. Vid packning med en hög frekvens (konventionell packning) bör avslutande statiska överfarer utföras för att motverka uppluckring i ytan. Packning med låg amplitud ger inte önskad effekt. Ingen nämnvärd packning sker av underliggande skikt och statiska överfarer bör därför utföras på varje skikt för bästa resultat. Detta motverkar inhomogeniteter i packningen. Vid packning med resonansfrekvens är statiska överfarer inte nödvändiga men kan ändå ge en marginell positiv effekt.
6. Maximal packningseffekt kan med tillräcklig stor noggrannhet kvantifieras med tillväxt i packmätarvärde. Företrädevis bör avlastningsmodulen E_{vib2} användas.
7. Packmätarvärdet påverkas av styvheten till relativt stort djup och kan inte detektera uppluckring i ytan. Det är därför viktigt att genom andra bedömningar undvika överpackning och det är fördelaktigt att kombinera YPK med statiska plattbelastningsförsök.
8. Avlastningsmodulen E_{vib2} är det packmätarvärde som är mest relaterat till bankmaterialets styvhet (jämfört med CMV eller E_{vib}). Andra packmätarvärden har inte undersökts.
9. Dubbelhopp, som motverkar packning och orsakar maskinslitage, uppstår vid en hög frekvens och en hög styvhet av underlaget men kan undvikas genom att packa vid resonansfrekvensen.
10. Vid höga krav på packningen bör en låg frekvens användas eftersom det möjliggör fler överfarer vid hög amplitud innan dubbelhopp uppstår och således att en högre packningsgrad kan uppnås. Företrädevis bör packning ske vid resonansfrekvensen av jord-vält systemet.

11. Packning bör aldrig utföras vid en frekvens som är lägre än systemets resonansfrekvens eftersom deformationerna i underlaget ej blir tillräckliga för att ge en god packningseffekt.
12. Sättningen är inte ett tillförlitligt mått på packningen vid ett stort antal överfarer då den även beror på sidoförflyttning, nedbrytning och sättning av underliggande lager. Tillväxt i packmätarvärden från YPK bedöms som ett mer tillförlitligt mått på återstående packningspotential.
13. Krossmaterial enligt AMA DCH.15 kan packas bättre än grovkrossad sprängsten 0-250 mm (AMA CEB.1113/1 med tillägg största stenstorlek 250 mm) med både högre komprimering och högre styvhet som följd. Eftersom större stenar kräver mer energi att förflytta är finare krossat material lättare att packa och det finns anledning att förutsätta att finare materialfraktioner än DCH.15 kräver ett mindre packningsarbete.
14. Vid packning av ett skikt på en lös terrass en fås betydande sättning av terrassen. Med en högre packningsfrekvens fås en större sättning av terrassen som beror på en något större djupverkan (se avsnitt 4.2).
15. Plattbelastningsförsök påverkas starkt av det mest ytliga materialet. Om uppluckring har skett till följd av överpackning så ger det stor påverkan på E_{v2} -modulen som minskar påtagligt.
16. Eftersom spridningen är stor krävs ca 8-10 plattbelastningsförsök för att erhålla ett tillförlitligt medelvärde.
17. Ytmodulen från tung fallviktsapparat ger en mycket god korrelation med E_{v2} -modulen från statisk plattbelastning och kan användas som komplement till plattbelastning eftersom tidsåtgången är påtagligt lägre. Dock fås en något högre modul – i dessa försök ca 28 %.
18. Förskjutningsamplituden är den dynamiska parameter som har mest påverkan på packningen (jämfört med svängningshastighet eller acceleration). Dock är det ej den nominella amplituden som är styrande utan den faktiska, som beror på det dynamiska systemet inklusive jordens respons. Dubbelhopp ger en kraftig ökning av förskjutningsamplituden som inte gynnar packningen utan snarare är negativt för både packningen och maskinen.

4.2 Packning vid resonansfrekvens

Att packa vid vält-jordssystemets resonansfrekvens ger nedanstående effekter i förhållande till konventionell packning vid en hög frekvens.

1. Automatisk justering av frekvensen är att föredra då resonansfrekvensen är svår att förutsäga och varierar långsamt med banken.
2. Frekvensen är påtagligt lägre vid resonans än vid konventionell packning.
3. Vid resonans förbättras interaktionen mellan vals och jord och valsemnet rör sig i nära fas med underlagets naturliga svängningsrörelse, vilket betyder att packningsenergin går åt till att förstärka rörelsen orsakad av den tidigare svängningscykeln. Vid en frekvens som är långt över resonans (konventionell packning), däremot, svänger valsemnet med en högre frekvens än underlaget och de får därför motverkande svängningsrörelser. Det betyder att en stor del av packningsenergin går åt till att hindra underlagets rörelse orsakad av tidigare cykler. Detta ger upphov till energiförlust och uppluckring.

4. Förskjutningsamplituden blir högre, men svängningshastighet är likvärdig och accelerationen lägre.
5. Kontaktkraften mellan vals och jord ökar påtagligt.
6. Centrifugalkraften minskar kraftigt. Den högre amplituden och kontaktkraften kan förklaras med förbättrad interaktion mellan vals och jord.
7. De dynamiska spänningarna i bankmaterialet är högre men antalet belastningscykler är färre p.g.a. lägre frekvens.
8. Till skillnad från vid packning med hög frekvens sker ingen uppluckring i ytan.
9. Eftersom uppluckringen undviks fås en högre styvhet på överytan än vid konventionell packning.
10. Resonansfrekvens ger en något sämre packning på större djup trots högre spänningar vilket kan förklaras med ett lägre antal belastningscykler. D.v.s. en hög frekvens ger en något bättre packning på större djup.
11. Packning vid resonans ger ett mer homogent packat lager. Detta kan ge fördelar under driftskedet eftersom inbyggda spänningsgradienter kan ge upphov till omlagring och sättningar.
12. Energi- och bränsleförbrukning minskar i storleksordningen 10-15 % vilket beror på att en mindre effekt krävs för driva vibrationsdelen av valsen vid en lägre frekvens.
13. Den minskade bränsleförbrukningen ger en mindre miljöpåverkan.
14. Mindre maskinslitage erhålls vid en lägre frekvens (färre belastningscykler), särskilt för lager och hydraulik, och mindre risk finns för utmattning av olika komponenter. Dessutom är centrifugalkraften påtagligt lägre vilken ytterligare minskar slitage på lager.
15. Dubbelhopp undviks, vilket möjliggör fler överfarter.
16. Packmätarvärdet E_{vib} bör ej användas tillsammans med automatisk frekvensstyrning p.g.a. dess starka frekvensberoende. Avlastningsmodulen E_{vib2} eller Compactometervärde (CMV) bör väljas istället då de påverkas mindre av packningsfrekvensen.
17. Vid låg amplitud fås en högre resonansfrekvens p.g.a. mindre töjning och således mindre påverkan från jordens icke-linjäritet.
18. Resonansfrekvensen påverkas inte nämnvärt av antalet överfarter, vilket antyder att den till stor del påverkas av djupare material. Dock är det inte resonans i det skikt som packas som är avgörande, utan en maximal förstärkning av vibrationerna. Det är därför inte av betydelse om resonansen främst sker i det packade materialet eller i djupare lager så länge maximal töjning uppnås i banken. Det betyder även att resonansfrekvensen inte kan användas som ett tillförlitligt mått på uppnådd packning.

19. Om automatisk frekvensstyrning inte är tillgängligt kan vissa av de positiva effekterna ovan tillgodoräknas genom att manuellt sänka frekvensen. Den lägsta tillgängliga frekvensen brukar dock vara påtagligt högre än resonansfrekvensen.

4.3 Genomförande av fältförsök

Nedan presenteras slutsatser från de två fältförsöken som kan vara av nytta vid planering och utförande av framtida packningsförsök.

1. EMU-spolar är en användbar mätmetod, men osäkerheter måste beaktas:
 - Spolar kan förflyttas eller rotera vid fyllning, packning eller andra aktiviteter.
 - Spolarna är placerade i finare material än bankmaterialet vilket gör att förutsättningarna är något annorlunda än för den övriga delen av banken.
2. Vid anläggande av provbankar för packningsförsök bör hänsyn tas till att ojämn påverkan fås av byggtrafik på banken.
3. Vid mätning av sättningar krävs en stor mängd mätpunkter då variationen är mycket stor.
4. Det är mycket viktigt att noggrant kontrollera material och utförande så att regelverk efterlevs och variationer minimeras.
5. Seismiska mätningar med direkt P-våg ger ett acceptabelt mått på styvheten i bankmaterialet vid små töjningar.

4.4 Övriga rekommendationer

Försöken påvisade betydelsen av vissa grundläggande aspekter som är väl kända sedan tidigare, men som inte alltid tas hänsyn till vid bankuppbbyggnad och vars betydelse därför bör betonas. Nedan följer slutsatser som korrelerar väl med tidigare erfarenheter.

1. Packmätarvärden är starkt beroende av förutsättningarna och bör endast användas med avseende på tillväxt.
2. Materialparametrar såsom kornstorleksfördelning och glimmerhalt har en stor inverkan på packningsresultatet. Således bör regelbundna kontroller utföras av levererat material. Analyser som tillhandahålls från tåkten är inte alltid aktuella. Det rekommenderas att utökade kontroller utförs vid höga krav på bankens funktion.
3. Utlägningsproceduren och materialseparation har en stor inverkan på packningsresultatet. Utläggning bör alltid ske med traktorutbredning enligt AMA figur CE/1 och kontroll att detta sker bör göras i fält.
4. Siltmorän med finjordshalt runt 20 %, som återfinns runt Norrköping, är inte lämpligt som bankmaterial eftersom packning av detta material är mycket svårpackat.
5. Tunna lager på en lös terrass är mycket svårpackade. Vid en större lagertjocklek förbättras packningen.

6. Packning enligt AMA Tabell CE/3 ger en låg packningsgrad och därför en bank som är långt ifrån sin maximala packningspotential. Vid höga krav på banken bör packningsarbetet utökas påtagligt. Det bör även påpekas att det föreligger påtagliga otydligheter i AMA:s packningsrekommendationer. Till exempel föreskrivs inte vilken amplitud som ska användas (hög eller låg) samt vid vilken hastighet välten ska framföras. Det kan antas att rekommendationerna Tabell CE/3 förutsätter en hög amplitud och att välten framför med ca 1 m/s, vilket är konventionellt förfarande.
7. Centrifugalkraften anses fortfarande i vissa länder vara den styrande packningsparametern. Dessa försök visar tydligt centrifugalkraften är ett mycket dåligt mått på packningseffekten och att den inte är relaterad till den kraften som förs ner i underlaget.