

TEKNISK RAPPORT

Konceptframtagning av testrigg

Per-Olof Larsson

Luleå universitetsbibliotek
971 87 Luleå



707 0260 199 12

JÄRNVÄGSTEKNISKT CENTRUM

rapp Luleå

Tunga Transporter i Kallt Klimat

Konceptframtagning av Testrigg

Innehållsförteckning:

| | | | |
|--|---|-----------|----------|
| 1 Förord | 3 | | |
| 1.1 Terminologi..... | 3 | | |
| 1.2 Dokumenthistorik | 3 | | |
| 2 Sammanfattning..... | 4 | | |
| 3 Inledning..... | 6 | | |
| 4 Kravspecifikation..... | 7 | | |
| 5 Konceptframtagning | 8 | | |
| 5.1 Steg 1 - Identifiering av delfunktioner..... | 8 | | |
| 5.2 Steg 2 - Framtagning av funktionslösningar | 8 | | |
| 5.3 Steg 3 - Utvärdering av funktionslösningar | 8 | | |
| 5.4 Steg 4 - Konceptförslag..... | 9 | | |
| 5.5 Steg 5 - Val av koncept..... | 9 | | |
| 6 Konceptbeskrivning - Rörlig räl | 10 | | |
| 6.1 Jämförelse med kravspecifikationen..... | 11 | | |
| 6.2 Realiserbarhet..... | 11 | | |
| 7 Konceptbeskrivning - Styrd hjulaxel | 13 | | |
| 7.1 Jämförelse med kravspecifikationen..... | 14 | | |
| 7.2 Realiserbarhet..... | 14 | | |
| 8 Jämförelse mellan koncepten..... | 15 | | |
| Bilagor | | | |
| Bilaga 1 | Kravspecifikation för testtrigg och dess inverkan på konstruktionen | JVG1-C-05 | 9 sidor |
| Bilaga 2 | Testtrigg - Funktionslösningar och konceptförslag | JVG1-C-06 | 23 sidor |
| Bilaga 3 | Testtrigg - Beskrivning av konceptet Rörlig räl | JVG1-C-07 | 19 sidor |
| Bilaga 4 | Testtrigg - Beskrivning av konceptet Styrd hjulaxel | JVG1-C-08 | 15 sidor |

1 Förord

Luleå tekniska universitet har i uppdrag att studera förutsättningarna för ett järnvägstekniskt forskningscentrum i Luleå. Projektet Konceptframtagning av testtrigg ingår som en del i uppdraget.

Projektet syftar till att ta fram konceptuella förslag för en testtrigg. Testtriggen ska användas för att göra accelererade livslängdstester av en komplett hjulaxel med två hjul samt räl under kontrollerade former. Hjulaxel och räl tas från produktion eller direkt från fält.

Denna rapport redovisar resultatet av projektet i form av två konceptuella förslag för en testtrigg.

Arbetet har utförts under april-maj 1998 på uppdrag av Luleå tekniska universitet av Thomas Marklund (TM), Per Gustavsson (PG) och Magnus Rosenbom (MR) vid Conex AB i Luleå samt Rolf Hägg (RH) och Mats Lindblad (ML) vid Knight Norrland i Örnsköldsvik.

1.1 Terminologi

| | |
|------------------|--|
| Lateralt | I hjulaxelns riktning. Även benämnt sidled. |
| Longitudinellt | I rälen riktning. |
| Teststräcka | Den sträcka under vilken testet pågår, dvs när den vertikala lasten verkar på hjulaxeln. |
| Testfrekvens | Den frekvens med vilken en viss punkt hos hjulet är i kontakt med rälen eller vice versa. Även benämnd lastfrekvens. |
| Enkelriktad last | Lasten på hjulaxeln verkar endast i en rotationsriktning för hjulet och i en riktning för rälen. Motsatsen är dubbelriktad last. |

1.2 Dokumenthistorik

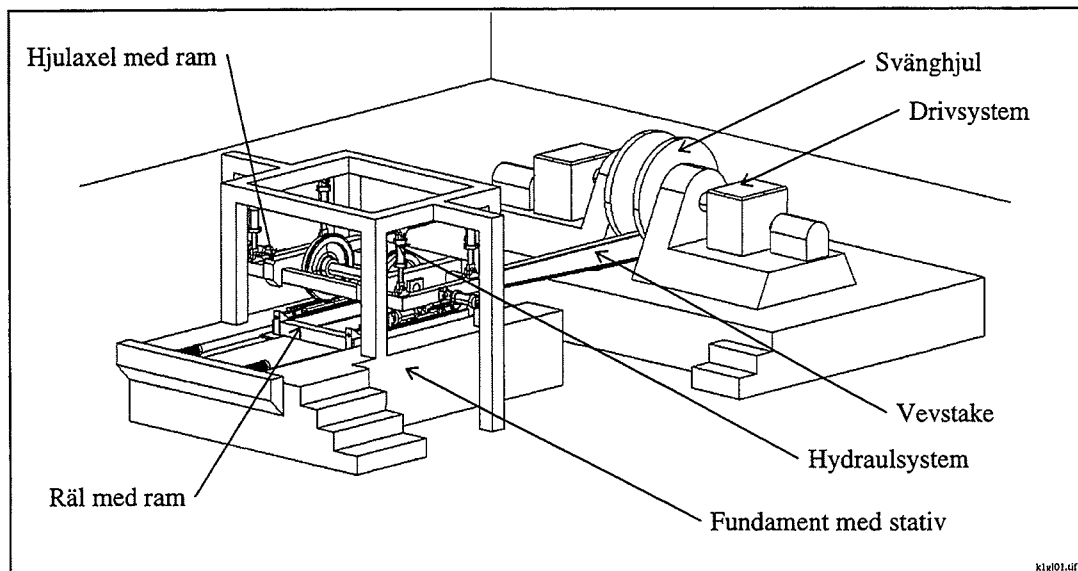
| <u>Rev</u> | <u>Datum</u> | <u>Status</u> |
|------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 980515 | Utkast |
| 2 | 980526 | Uppdatering av innehåll |
| 3 | 980528 | Uppdatering av innehåll |
| 4 | 980818 | Godkänd |

2 Sammanfattning

Kravspecifikationen som styr utformningen av testriggen är svår att uppfylla i alla avseenden. Det som framförallt vållar problem är testfrekvensen 2 Hz i kombination med att accelererat test ska ske för både hjul och räl samtidigt. Det ger att antingen hjulaxeln eller rälen ska förflyttas en teststräcka motsvarande hjulets omkrets 2 gånger per sekund. De stora massorna i hjulaxeln och rälen tillsammans med den stora accelerationen som blir följden av frekvensen och sträckan leder till att krafter och effektbehov blir stora och livslängden hos testriggen blir begränsad.

De koncept som har framarbetats bygger på två olika principer. Det ena konceptet - Rörlig räl - har en rörlig räl och en kort teststräcka. Därigenom minskas den rörliga massan (rälen har mindre massa än hjulaxeln) och genom att minska teststräckans längd minskar accelerationerna vid bibehållen testfrekvens hos rälen. Det andra konceptet - Styrd hjulaxel - har en rörlig hjulaxel och en lång accelerations- och teststräcka. Genom den långa accelerationssträckan kan accelerationen hållas ner och genom den långa teststräckan kan testfrekvensen på hjulet bibehållas.

Konceptet Rörlig räl, se Figur 1, bygger på en rörlig räl som drivs av ett svänghjul. Hjulaxeln är stillastående. Lastpåläggning och positionering av hjulaxeln sköts av hydraulik. Hjulaxeln lyfts i ena åkriktningen och därigenom erhålls enkelriktad last.



Figur 1. Konceptet - Rörlig räl.

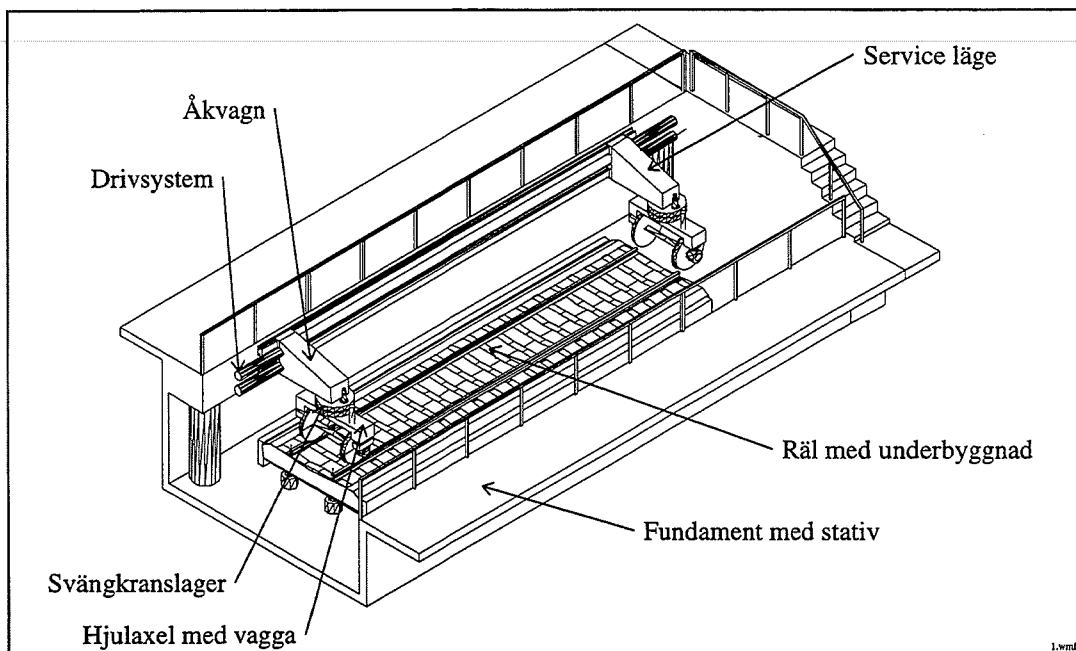
Konceptet ger ett accelererat test av rälen med en maximal testfrekvens på 1.4 Hz vid enkelriktad last. Att fullborda ett test med 15 milj cykler tar därmed ca 4 månader för rälen. Testfrekvensen för hjulet är ca 0.5 Hz då teststräckan är mindre än hjulets omkrets. Svänghjulet ger en sinusformad hastighetsprofil med maximal hastighet ca 7 m/s. Maximal teststräcka är ca 1 m. Hastigheten varierar i det fallet mellan 4 och 7 m/s, och accelerationen mellan ca -40 till 40 m/s².

Den rörliga rälen massan måste hållas ned. Det innebär att inverkan av slipers, mellanlägg, befästingar, ballast och underbyggnad ej kan studeras i testrigen.

Realiserbarheten för konceptet beror framförallt av hur noggrant styrningen av hydrauliken kan göras. Dessutom ger svänghjulet en varierande hastighet och acceleration under testförloppet vilket kan leda till icke önskad glidning under testet.

Investeringskostnaden för testrigen Rörlig räl är ca 7.5 milj kr.

Konceptet Styrd hjulaxel, se Figur 2, bygger på en hjulaxel som skjuts iväg med hydraulik i ena änden och bromsas upp med hydraulik i andra änden av teststräckan. Positionering sker via en åkvagn som är lagrad i ett stativ. Lastpåläggning sker via hydraulik. För att öka testfrekvensen på hjulen roteras hjulaxeln i ändlägena. Det innebär att hjulen utsätts för enkelriktad last och rälen för dubbelriktad last i normalfallet.



Figur 2. Konceptet - Styrd hjulaxel.

Konceptet ger ett accelererat test av hjulen med en maximal testfrekvens på drygt 2 Hz vid enkelriktad last. Att fullborda ett test med 15 milj cykler tar därmed ca 3 månader för hjulen. Testfrekvensen för rälen är ca 0.7 Hz vid dubbelriktad last, då teststräckan är ca 3 gånger hjulets omkrets.

Maximal hastighet är 12-15 m/s och hastigheten är relativt konstant under hela teststräckan. Teststräckan är 9 till 11 m lång.

Realiserbarheten för konceptet beror framförallt av om hydraulsystemet klarar av de höga flödes hastigheterna och de snabba förlopp som uppstår vid accelerationen.

Investeringskostnaden för testrigen Styrd hjulaxel är uppskattningsvis 11.8 milj kr.

3 Inledning

Institutionen för Maskinteknik vid Luleå tekniska universitet (LTU) har i uppdrag att studera förutsättningarna för ett järnvägstekniskt forskningscentrum i Luleå. Som en del i detta uppdrag ingår en konceptuell utformning av en testrigg.

Testriggen ska användas för att göra accelererade livslängdstester av hjul och räl under kontrollerade former. Man vill framförallt studera hur man kan optimera kontakten mellan hjul och räl för att minska slitaget och behovet av underhåll i samband med tunga transporter. Studierna inriktas på att:

- hitta en optimal spår- och hjulgeometri
- studera inverkan av smörjning av hjul och räl
- studera hur olika materialparametrar påverkar slitaget av hjul och räl
- samt studera vilken inverkan enkel- och dubbelriktad trafik har på slitaget.

Förutom själva kontakten mellan hjul och räl vill man även kunna studera hur olika spårkomponenter såsom slipers, mellanlägg, befästningar, ballast och underbyggnad påverkar livslängden och behovet av underhåll.

I ett tidigare skede har en kravspecifikation för testriggen framarbetats av industrins arbetsgrupp. Utifrån denna ska ett antal koncept tas fram i samarbete med LTU och industriintressenternas arbetsgrupp.

För att hitta lämpliga koncept till testriggen används en metodik som går ut på att dela in konstruktionen i ett antal enkla delfunktioner och hitta funktionslösningar till dessa. Man får därmed en idématris med delfunktioner och funktionslösningar. Genom att kombinera en funktionslösning från varje delfunktion får man ett komplett konceptförslag. Antalet möjliga koncept blir därmed väldigt stort, varför man utvärderar vilka av funktionslösningarna som är lämpligast och uppfyller kravspecifikationen bäst. Från dessa sätter man sedan samman ett antal konceptförslag som utvärderas. De konceptförslag som bäst uppfyller kravspecifikationen och som anses vara realiserbara väljs ut och studeras mer ingående. Dessa konceptförslag blir de koncept som föreslås i slutändan.

4 Kravspecifikation

Till grund för utformningen av testriggen ligger en kravspecifikation som framarbetats av intressenternas arbetsgrupp, dvs styrgruppen till detta delprojekt. Kravspecifikationen med kommentarer om dess inverkan på konstruktionen av testriggen redovisas i sin helhet i bilaga 1, dokumentnummer JVG1-C-05.

De krav som framförallt påverkar konstruktionen och utformningen av testriggen är att:

- standard spårkomponenter ska utnyttjas
- en hel hjulaxel med lagerbox och primärfjädring ska användas vid testet
- att vertikallasten på hjulaxeln ska vara maximalt 400 kN
- att noggrannheten vid positionering av kontakten mellan hjul och räl ska vara inom 1 mm i lateral riktning
- att testfrekvensen ska vara 2 Hz med en testlängd av 15 milj cykler
- samt att inverkan av slipers och ballast ska kunna testas i riggen.

5 Konceptframtagning

Konceptframtagningsfasen har delats in i fem steg.

1. Identifiering av ett antal enkla delfunktioner som testtriggen ska utföra.
2. Framtagning av ett antal funktionslösningar för varje delfunktion, samt beskrivning av deras för- och nackdelar.
3. Utvärdering av funktionslösningarna baserat på hur väl kravspecifikationen kan uppfyllas och respektive funktionslösningars för- och nackdelar.
4. Sammanställning av de mest lämpliga funktionslösningarna, från punkt 3, till ett antal konceptförslag samt utvärdering av dessa förslag.
5. Val av de mest lämpliga konceptförslagen från punkt 4. Dessa studeras närmare vad gäller uppfyllelse av kravspecifikation, realiserbarhet och kostnad.

Punkt 1 till 4 i konceptframtagningsfasen beskrivs kortfattat nedan och i sin helhet i bilaga 2, dokumentnummer JVG1-C-06. Punkt 5 beskrivs i nästa kapitel.

5.1 Steg 1 - Identifiering av delfunktioner

För att strukturera konceptframtagningsfasen har testtriggen brutits ned i fem delfunktioner. Dessa är:

- Rörelsegenerering Testtriggen ska skapa en linjär rörelse mellan hjul och räl.
- Kraftgenerering Testtriggen ska skapa en varierbar vertikal last/kraft.
- Slirningshämning Testtriggen ska förhindra glidning i kontakten mellan hjul och räl. Ren rullning ska åstadkommas.
- Positionering av hjul/räl Testtriggen ska positionera kontakten mellan hjul och räl med god noggrannhet.
- Styvhet och dämpning Testtriggen ska kunna simulera underbyggnadens egenskaper.

5.2 Steg 2 - Framtagning av funktionslösningar

För varje delfunktion ovan har ett 3 till 11 funktionslösningar framarbetats. Dessa beskrivs närmare i bilaga 2, kapitel 3. Där redovisas även deras för- och nackdelar.

5.3 Steg 3 - Utvärdering av funktionslösningar

Utvärdering av funktionslösningarna baserat på hur väl kravspecifikationen kan uppfyllas och respektive funktionslösningars för- och nackdelar. De lämpligaste funktionslösningarna presenteras i bilaga 2, kapitel 4.

5.4 Steg 4 - Konceptförslag

Utifrån de lämpligaste funktionslösningarna har sju konceptförslag framarbetats. Dessa förslag beskrivs kortfattat i bilaga 2, kapitel 5.

5.5 Steg 5 - Val av koncept

Av de sju konceptförslag som framarbetats har två valts ut av arbetsgruppen vid LTU för att studeras närmare vad gäller konstruktion, komponenter, kinetik, inversteringskostnad, uppfyllelse av kravspecifikationen och realiserbarhet. Det är konceptförslag 4 och 7 i bilaga 2, dokumentnummer JVG1-C-06. Dessa förslag har valts ut då:

- konceptförslag 4 - Rörlig räl:
 - stillastående hjulaxel ger enkel lastpåläggning
 - genom lyftning av hjulaxeln undviks byte av rotationsriktning hos hjulen vilket leder till minskad risk för glidning
 - rörlig räl ger mindre rörlig massa än rörlig hjulaxel, vilket leder till lägre masskrafter och minskat effektbehov
 - positionering av läget för kontakten mellan hjul och räl kan göras noggrann då hjulaxeln är stillastående och rälen är fixerad i en ram
 - enkel rörelsegenerering med svänghjul och vevstake
- konceptförslag 7 - Styrdd hjulaxel:
 - liten variation av acceleration och jämn hastighet under testfasen då hjulaxeln rullar utan yttre påverkan
 - lång teststräcka
 - inverkan av slipers, befästningar, mellanlägg och ballast kan testas i riggen
 - möjlighet att simulera underbyggnad

Koncepten beskrivs översiktligt i de följande kapitel 6 och 7 och detaljerat i bilaga 3, dokumentnummer JVG1-C-07 och i bilaga 4, dokumentnummer JVG1-C-08.

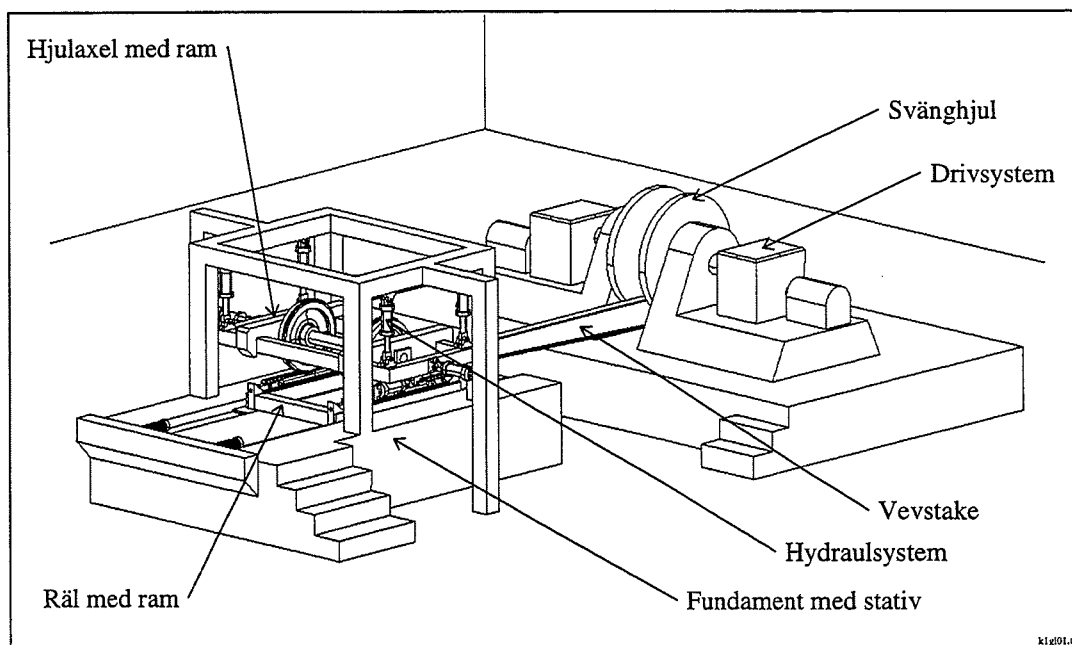
6 Konceptbeskrivning - Rörlig räl

Konceptet beskrivs noggrant i bilaga 3, dokumentnummer JVGI-C-07.

Konceptet består av en rörlig räl och en stillastående axel. Se Figur 3. Drivningen av rälen sker via ett svänghjul med vevstake. Svänghjulets vevradie är 0.75 meter. Det innebär att slaglängden är 1.5 meter. Vevstaken är 4 meter lång. Rälen fästs på en ram som lagras mot fundamentet. Hjulaxeln fästs i en ram via hornluggar. Lastpåläggning sker via hydraulcylindrar som också lyfter hjulaxeln i ena riktningen. Lyftet sker för att undvika glidning samt för att simulera enkellast.

Maximal testfrekvens är 1.4 Hz för rälen och ca 0.5 Hz för hjulet. Hastigheten varierar under cykeln men är som mest ca 7 m/s. Maximal acceleration under en cykel är ca 70 m/s².

Drivsystemet består av två 160 kW asynkronmotorer med varsin växellåda. Hydraulsystemet består av servocylindrar med en drivenhet på 55 kW och ett reglersystem för styrning av positionering och lastpåläggning. Total installerad effekt ca 360 kW. Effektförbrukning 55 kW för rälen rörelse och upp till 55 kW för lastpåläggningen.



Figur 3. Koncept - Rörlig räl.

Investeringskostnaden för testriggen uppskattas till 7.5 milj kr. I detta ingår samtliga konstruktionskomponenter, konstruktionsarbetet samt inkörning av testriggen och erforderlig mätutrustning.

6.1 Jämförelse med kravspecifikationen

Konceptet uppfyller kravspecifikationens krav och önskemål förutom på följande punkter:

Ej uppfyllda krav:

| Kravspecifikation | Konceptet - Rörlig räl |
|--|--|
| Längd på räls 8 meter. | Längd endast 2 meter. |
| Ballast 30-50 cm djup tas med i riggen. | Ballast saknas. |
| Ballast ska kunna vattenbegjutas. | Ballast saknas. |
| Slipers ska tas med i riggen. | Slipers saknas. |
| Mellanlägg ska tas med i riggen. Rälslutning. | Mellanlägg saknas. Rälslutning kan åstadkommas ändå. |
| Befästningar ska tas med i riggen. | Befästningar saknas. |
| Lastfrekvens på räls minst 2 Hz. | Maximal frekvens på räl 1.4 Hz och på hjul ca 0.5 Hz. |
| Ren rullning ska åstadkommas med en friktionskraft som får vara maximalt 2% av normallasten. | OK, förutsatt att en teststräcka på ca 30 cm kan godtas, alternativt att testfrekvensen sänks till 1-1.2 Hz. |
| Provsträckan ska vara minst 45 cm vid konstanta förhållanden. | Accelerationen varierar mellan ca -20 till 20 m/s ² och hastigheten mellan ca 6.2 till 6.6 m/s vid en teststräcka på 45 cm. |
| Accelererat test av såväl hjul som räl ska kunna utföras. | Testriggen ger ett accelererat test av rälen. |

Ej uppfyllda önskemål:

| Kravspecifikationen | Konceptet - Rörlig räl |
|---|---------------------------------|
| Varierande styvhet av bankroppen | Underbyggnad saknas. |
| Ballast ska kunna frysas. | Ballast saknas. |
| Last ansatt 3 meter. | Last ansatt maximalt 1.5 meter. |
| Maximal hastighet 15 m/s vid ansatt last. | Maximal hastighet ca 7 m/s. |
| Möjlighet till placering utomhus. | Testriggen är ej flyttbar. |

6.2 Realiserbarhet

För att säkerställa testriggens funktion krävs omfattande analyser av dynamik och hållfasthet. Noggranna analyser måste göras av lager och mekaniska delar för att bestämma utmattningsgräns och testriggens livslängd som helhet.

Realiserbarheten beror till stor del på om positioneringen av axeln kan ske med den exakthet som krävs för att inte hjulen ska glida i samband med nedsättning av hjulaxeln samt vid på- och avlastning av den vertikala lasten. Även om

positioneringen är exakt kan vågighet och skador på räl och hjul samt deformationer i testtriggen vid drift göra att glidning uppkommer.

Om inte nedsättningen av hjulaxeln och lastpåläggningen kan ske mjukt finns risk för inducering av stötvågor vilket inte får ske. Hydraulsystemet måste även enkelt kunna justeras för att anpassas till det slitage som uppkommer under testförloppet.

Svänghjulet ger en sinusformad hastighets- och accelerationsprofil till rälen. Det innebär att hastigheten och framförallt accelerationen kommer att variera under teststräckan. En risk är att dessa variationer, som ej förekommer vid normal tågtrafik, kommer att påverka testresultaten.

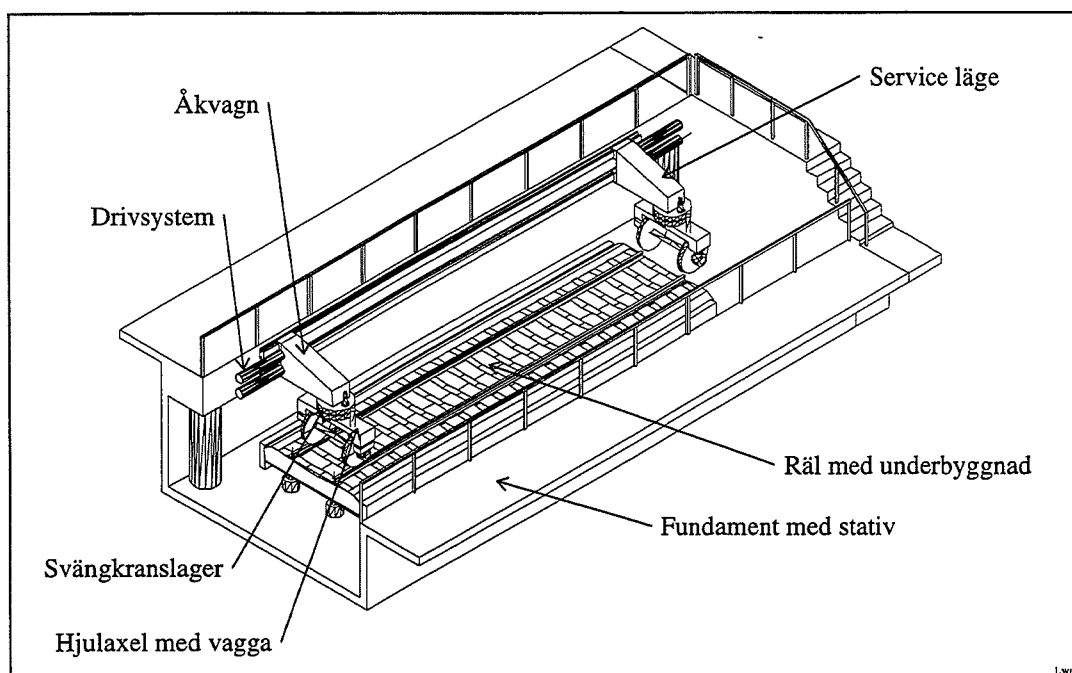
7 Konceptbeskrivning - Styrd hjulaxel

Konceptet beskrivs noggrant i bilaga 4, dokumentnummer JVG1-C-08.

Konceptet bygger på antalet belastningsmeter/tidsenhet. För att generera åk rörelsen används en åkvagn som skickas iväg med en accelerationscylinder. Åkvagnens rörelse bromsas upp i ändläget med hydrauliska bromsar. Energin som tas upp i de hydrauliska bromsarna återförs till accelerationscylindrarna. Se Figur 4.

Hjulaxeln sitter monterad i åkvagnen via en svängkranslagrad vagg. Vaggan är justerbar i höjd och sidled med hjälp av hydraulcylindrar som även genererar last i vertikal- och sidled under åk rörelsen. Vaggan roteras i ändläget för att kunna utnyttja åk rörelsen tillbaka till utgångsläget som en teststräcka. Därigenom undviks byte av rotationsriktning för hjulen. Eftersom båda åk riktningarna används som teststräcka åstadkoms enkelriktad last för hjulen.

Rälen med slipers och ballast placeras i en 12-15 meter lång underbyggnad.



Figur 4. Testrigg - Styrd hjulaxel.

Teststräckan för hjulet är 9 till 11 m lång. Eftersom accelerationen sker innan teststräckan kan hastigheten hållas relativt konstant. Maximal hastighet är 12 till 15 m/s och maximal testfrekvens är 2 Hz för hjulet och ca 0.7 Hz för rälen.

Investeringskostnaden för testriggen uppskattas till 11.8 milj kr. I detta ingår samtliga konstruktionskomponenter, konstruktionsarbetet samt inkörning av testriggen och erforderlig mätutrustning.

7.1 Jämförelse med kravspecifikationen

Konceptet uppfyller kravspecifikationens krav och önskemål förutom på följande punkter:

Ej uppfyllda krav:

| Kravspecifikation | Konceptet - Styrd hjulaxel |
|---|--|
| Enkelriktad rörelse för ansatt last. | OK för hjul. Dubbelriktad last för räl i normalfallet. |
| Lastfrekvens på räls minst 2 Hz. | Maximal frekvens ca 2 Hz för hjulet. Frekvens för rälen ca 0.7 Hz vid dubbelriktad last. |
| Accelererat test av såväl hjul som räl ska kunna utföras. | Testriggen ger ett accelererat test av hjulet. |

Ej uppfyllda önskemål:

| Kravspecifikationen | Konceptet - Styrd hjulaxel |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Möjlighet till placering utomhus. | Testriggen är ej flyttbar. |

7.2 Realiserbarhet

Det som sätter begränsningen med konceptet är först och främst höga flödes hastigheter och snabba förlopp i hydrauliken. En mer noggrann analys av konceptet och komponenter krävs för att erhålla optimering med avseende på energiomsättning och minimering av energiförluster.

Även på den mekaniska delen av provriggen bör fördjupad analys av konceptet och komponenter göras med avseende på hållfasthet och noggrannhet utföras.

Problemet med glidning mellan hjul och räl går antagligen ej helt att undvika men med avkänning av både translations- och rotations hastighet och sättning av hjulaxeln först när dessa hastigheter sammanfaller bör problemet vara lösbart.

8 Jämförelse mellan koncepten

| | Testrigg - Rörlig räl | Testrigg - Styrd hjulaxel |
|---|-----------------------|------------------------------|
| Investeringskostnad | 7.5 milj kr | 11.8 milj kr |
| Testtid för 15 milj lastcykler för hjulet | ca 12 månader | ca 3 månader |
| Testtid för 15 milj lastcykler för rälen | ca 4 månader | ca 16 månader ⁽¹⁾ |
| Effektförbrukning | 110 kW | 260 kW |
| Utrymmesbehov | ca 100 m ² | ca 180 m ² |

⁽¹⁾ Vid dubbelriktad last för rälen ca 8 månader.

Kravspecifikation för testrigg och dess inverkan på konstruktionen

Innehåll

| | |
|---|---|
| 1 Inledning..... | 2 |
| 2 Kravspecifikation för testrigg..... | 3 |
| 2.1 Provningsobjekt..... | 3 |
| 2.1.1 Räls | 3 |
| 2.1.2 Hjulpar | 3 |
| 2.1.3 Underbyggnad..... | 4 |
| 2.1.4 Ballast | 4 |
| 2.1.5 Slipers | 5 |
| 2.1.6 Mellanlägg | 5 |
| 2.1.7 Befästningar | 5 |
| 2.2 Generering av yttre krafter exkl riggens dynamiska egentillskott..... | 5 |
| 2.2.1 Yttre laster | 5 |
| 2.2.2 Inre krafter | 6 |
| 2.2.3 Funktion..... | 6 |
| 2.2.4 Geometri | 6 |
| 2.2.5 Lastfrekvens..... | 7 |
| 2.2.6 Traktion..... | 7 |
| 2.3 Klimat..... | 7 |
| 2.4 Dynamik..... | 7 |
| 2.5 Mätteknik | 8 |
| 2.6 Övrigt | 8 |
| 3 Tillägg till kravspecifikation | 9 |

| <u>Rev</u> | <u>Datum</u> | <u>Status</u> |
|------------|--------------|---|
| 1 | 980513 | Ersätter dokumentet "kravspec" rev 4 |
| 2 | 980515 | Kompletterad med "Tillägg till kravspecifikation" |
| 3 | 980525 | Uppdaterat innehåll. |
| 4 | 980818 | Godkänd |

1 Inledning

Dokumentet presenterar kravspecifikationen som ligger till grund för testriggen. Kravspecifikationen har framarbetats av industrins arbetsgrupp. Arbetsgruppen har inledningsvis tagit fram en enkät som industriintresenterna har svarat på. Med utgångspunkt från enkät-svaren har en första kravspecifikation framarbetats. Denna har reviderats några gånger under projektet av industrins arbetsgrupp. Den slutliga revisionen, som presenteras i detta dokument, är revision 3, fastställd 980128.

Det finns två nivåer på krav. Dels Krav vilket innebär att riggen måste klara av kravet. Dels Önskemål vilket innebär att riggen bör klara av önskemålet.

I detta dokument har kraven kompletterats med kommentarer om kravens inverkan på utformningen av konstruktionen. Dessa kommentarer har gjorts av Conex AB.

Allt eftersom konceptframtagningen har fortskridit har nya frågeställningar kommit fram. Dessa har lett till att vissa krav har förändrats och några har tillkommit. Tilläggen redovisas i slutet av dokumentet.

2 Kravspecifikation för testrigg

I kolumnen K/Ö står K för Krav och Ö för Önskemål.

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|------|-----|---------------------------------|----------------------------|
| 1-1 | K | Standardkomponenter ska nyttjas | |

2.1 Provningsobjekt

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|-------|-----|---|---|
| 1.1-1 | K | Samtliga komponenter ska kunna bytas med rimlig arbetsinsats. | Dvs med den tid det tar i vanliga fall i fält eller verkstad. |

2.1.1 Räls

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|---|
| 1.1.1-1 | K | Räls - Ny och från fält, ex BV50 och UIC 60, längd min 8 meter, 1420-1450 mm spårvidd. | Ger längd för rälsbädden minst 8 m. Olika höjder på rälsen ger att riggen måste vara justerbar i höjddled. Riggen måste konstrueras så att god åtkomst fås till slipers och räls. |
| 1.1.1-2 | Ö | Önskemål. Spårvidd 1000-1600 mm. | Olika spårbredder på rälsen ger att riggen måste vara justerbar så att varierande spårvidd kan användas. |
| 1.1.1-3 | Ö | Anlägga 1 par isolskarv, svetskarv, öppen skarv. | Ger inga speciella konstruktionskrav på riggen. |
| 1.1.1-4 | K | Slipbart på plats med maskin. | Storlek på slipmaskin tillsammans med slipersbredd ger minbredd på riggen. Maximal höjd slipmaskin ca 2 meter. |
| 1.1.1-5 | Ö | Prov av växeltunga. | Ger inga speciella konstruktionskrav på riggen. |

2.1.2 Hjulpar

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--------------------------------------|--|
| 1.1.2-1 | K | Hjulpar - En axel, ny och från fält. | Riggen måste kunna balansera uppkomna moment och krafter från hjulparet. |

| | | | |
|---------|---|--|--|
| 1.1.2-2 | K | Generell infästning inkluderande standard lagerbox och primärfjädring. | Gränssnittet mot axeln flexibelt för att olika typer av axlar ska kunna monteras. Endast vertikal rörelse tillåten för axeln vid infästning mot "hornluggen". |
| 1.1.2-3 | K | Spårviddsönskemål, se räls. | Inverkar på minbredd för riggen. |
| 1.1.2-4 | K | Hjulaxeln demonteras från riggen för slipning alt svarvning. | Enkel montering/demontering av axel. Instrumenterad axel ska kunna sättas in i riggen. |
| 1.1.2-5 | Ö | Prov av vågighet på räls vilket ger axiella krafter, lokalt uppvärmda hjul samt bromsning av hjul med olika bromssystem. | Riggen bör kunna ta upp axiella rörelser och krafter utan att pålagd last förändras. Våglängden på vågigheten är ca 5 - 500 mm. Max våghöjd ca 0,2 mm. Utrymme för utrustning för uppvärmning och bromsning måste finnas. Infästning av broms i riggen. |

2.1.3 Underbyggnad

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|--|
| 1.1.3-1 | Ö | Önskemål är varierande styvhet av bankroppen för att kunna ändra underbyggnadens styvhet och dämpning. Önskvärt att kunna placera frostskyddsisolering ovanpå. | Bankroppens egenskaper bör kunna simuleras. Varierande styvhet och inverkan av frostskyddsisolering. Påverkar fundamentets utformning. |

2.1.4 Ballast

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|---|
| 1.1.4-1 | K | Ballast - 30-50 cm djup, full slipersbredd. Hela räslängden. | Påverkar fundamentets utformning. Ballasten ska finnas utanför slipers. Det innebär att bredden på fundamentet måste vara ca 3 meter. Lateral last på rälsen tas upp via slipers och ballast. Slipers ej låst till fundamentet. |
| 1.1.4-2 | K | Ska kunna vattenbegjutas samt förorenas och renas. | Påverkar fundamentets utformning. Riggen måste konstrueras så att god åtkomst fås till ballast och fundament. |

| | | | |
|---------|---|-----------------------------|----------------------------------|
| 1.1.4-3 | Ö | Ballasten ska kunna frysas. | Frysning är endast ett önskemål. |
|---------|---|-----------------------------|----------------------------------|

2.1.5 Slipers

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|---|---|
| 1.1.5-1 | K | Olika materialtyper och mått. Längder upp till 2,60 m. Placeras längs hela räslängden med avstånd c-c 40-80 cm | Riggen måste konstrueras så att god åtkomst fås till slipers och ballast. |

2.1.6 Mellanlägg

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|---|--|
| 1.1.6-1 | K | Räslutning 1:20 alt 1:30. Byte av material, typ och tjocklek. | Riggen måste konstrueras så att god åtkomst fås till räls och slipers. |

2.1.7 Befästningar

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--------------------------------------|--|
| 1.1.7-1 | K | Byte av material, typ och klämkraft. | Riggen måste konstrueras så att god åtkomst fås till räls och slipers. |

2.2 Generering av yttre krafter exkl riggens dynamiska egentillskott

2.2.1 Yttre laster

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|--|
| 1.2.1-1 | K | Vertikalt maximalt 400 kN, indelat i laststeg. | Maximal vertikal last som riggen ska prestera. Till detta kommer dynamiska tillskott. |
| 1.2.1-2 | Ö | Axiellt (pga broms) önskvärt 150 kN maximalt. | Antagen maximal friktion ca 0,5. Riggen ska kunna ta upp denna kraft i rälsens längdriktning. Fundamentet ska ta upp denna kraft i rälsen. Det som genererar rörelsen mellan hjul och räl ska prestera minst 150 kN. Till detta kommer egentyingden. |
| 1.2.1-3 | Ö | Lateralt önskvärt 250 kN maximalt. | På grund av snedställning av hjulen ska riggen och fundamentet kunna ta upp 250 kN i sidled. Lateral kraft ska tas upp via slipers och ballast och föras över till fundamentet. |

2.2.2 Inre krafter

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|---|
| 1.2.2-1 | K | Hjulplattor, dynamiska tillskott antas kunna uppgå till 4 ggr den statiska lasten. | Ger maximala krafter. Vertikalt 4 * 400 kN = 1600 kN. |
| 1.2.2-2 | K | Förspänning av räls i axialriktning motsvarande temperaturvariation -30 - +50 °C. | Ger tillsammans med axiell last maximal kraft som fundamentet ska ta upp via rälsen. Normaltemperatur 10 grader. Kriterier för maximal skjuvspänning i kontaktpunkten 4 MPa. |

2.2.3 Funktion

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|---|---|
| 1.2.3-1 | K | Enkelriktad rörelse för ansatt last. | Last endast i en riktning. |
| 1.2.3-2 | Ö | Dubbelriktad rörelse för ansatt last, varierande hastighet vid ansatt last, snedlast. | Lasten bör kunna belasta riggen olikformigt. Hastigheten vid ansatt last bör om möjligt kunna varieras. Sinusformad hastighet kan godtas. |

2.2.4 Geometri

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|---|--|
| 1.2.4-1 | K | Styra axelposition vid ansättning, attackvinkel 0 +/- 20 milliradianer (+/- 30mm) med tolerans +/- 2,5 mm , önskvärt: +/- 25 milliradianer, sidoläge 0 +/- 50 mm med tolerans +/- 2,5 mm, primärfjädring tillåter axialrörelse men position för hornsluggar låses inbördes. | Positionering av hjul/räl är ett krav för kontaktutmattnings. Kravet innebär att hjul och räl ska kunna positioneras och hållas inom 1 mm under testet. Kontaktpunkten mellan hjul och räl ska varieras. Variation av kontaktpunkten mellan hjul och räl borde ske utan någon speciell anordning som utför detta. Ingen slirning får förekomma mellan hjul och räl i vändläget. Önskemål att hjul och räl utsätts för lika många kontakter. |

| | | | |
|---------|---|--|---|
| 1.2.4-2 | K | Last ansatt 1 meter, önskemål 3 meter. | Lasten ska vara ansatt under minst 1 meter av testet, gärna under ett helt varv. Lasten kan/bör ligga på under hela rörelsen över rälen. Man måste undvika att hjulet går över eventuell slitagegräns på rälen. |
| 1.2.4-3 | Ö | Last ansatt 3 meter. | |

2.2.5 Lastfrekvens

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|--|---|
| 1.2.5-1 | K | Lastfrekvens på räls minst 2 Hz. Provlängd 15 miljoner cykler. | Lastfrekvens 2 Hz innebär en (1) fram och återgående rörelse per sekund. För en rörelse som motsvarar ett helt varv på hjulet (ca 4m) innebär det en medelhastighet på 8 m/s. Önskvärt 4 Hz vid enkelriktad last. |
| 1.2.5-2 | Ö | Provlängd 20 miljoner. | |
| 1.2.5-3 | Ö | Hastighet 15 m/s vid ansatt last. | Sinusformad hastighetsprofil med maximalhastighet minst 15 m/s är OK. |

2.2.6 Traktion

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|---------|-----|---|--------------------------------|
| 1.2.6-1 | Ö | Traktion genom bromsning av hjul med olika bromsprinciper, t ex blockbroms och skivbroms. | Riggen ska klara av bromsning. |

2.3 Klimat

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|-------|-----|---|--|
| 1.3-1 | Ö | Variation av klimatet med avseende på luftfuktighet rel fukt 20-80%, temperatur -30 - +50 °C. | Komponenter anpassade för luftfuktighet samt temperaturskillnader. |

2.4 Dynamik

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|-------|-----|--|---|
| 1.4-1 | Ö | Dynamiska krafttillskott vid skador i hjul och räl (orsak och verkan av hjulplattor, shelling på räl). | Riggen ska klara av dynamiska krafttillskott. |

2.5 Mätteknik

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|-------|-----|---|--|
| 1.5-1 | K | Möjlighet att testa ut olika övervakningsmetoder, hårdhetsmätning, profilmätning, spricktillväxt, rälsvandring, vågbildning, ytskador, rälsbrott, inkörningsförlopp, körsätt i fält. Friktion mellan räl/hjul mäts som funktion av glidning och hastighet mellan räl/hjul. | Räl, hjul och axel ska vara lätt åtkommliga. |
| 1.5-2 | K | Automatisk övervakning och monitorering av banöverbyggnader såsom räl, rälskarvar, rälgeometri, befästningar, sliprar etc. är mycket viktiga för att i ett tidigt stadium detektera och uppfölja hur olika underhållsarbeten utfaller. Instrumenterad hjulaxel för bestämning av deformationer/krafter under drift. | Räl, hjul och axel ska vara lätt åtkommliga. |
| 1.5-3 | Ö | Testning av ljudgenerering. | Räl, hjul och axel ska vara lätt åtkommliga. |

2.6 Övrigt

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|-------|-----|--|--|
| 1.6-1 | Ö | Standard smörjapparater skall kunna appliceras för simulering av räls smörjning. | Utrymme för smörjapparater ska finnas. |
| 1.6-2 | Ö | Simulering av hjulklättring, möjlighet till placering utomhus eller i klimatrum. | Riggen ska om möjligt göras flyttbar. |
| 1.6-3 | Ö | Vattensmörjning skall kunna användas. | |

3 Tillägg till kravspecifikation

Följande riktlinjer för krafter och dynamiska tillskott har framkommit i samband med litteraturstudie genomförd 98-03-16.

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|------|-----|--|----------------------------|
| 2-1 | K | Maximala laterala krafter ca 200 kN. | |
| 2-2 | K | Maximala sidoförskjutningskrafter ca 100 kN. | |
| 2-3 | K | Dynamiskt tillskott på vertikallast ca 2. | |

Följande krav har tillkommit i samband med arbetsmötet 980417.

| Krav | K/Ö | Specifikation | Inverkan på konstruktionen |
|------|-----|--|--|
| 2-4 | K | Ren rullning ska åstadkommas med en friktionskraft som får vara maximalt 2% av normallasten. | Accelerationen under testförloppet får ej vara högre än att full rullning kan åstadkommas med 2% av normallasten. |
| 2-5 | K | Provsträckan ska vara minst 45 cm vid konstanta förhållanden (last (kontakttryck), rullhastighet, traktionskraft). | Rullhastigheten kan tillåtas variera under förutsättning att ren rullning mellan hjul och räl åstadkoms samt att variationen i accelerationen är känd i varje läge på teststräckan. |
| 2-6 | K | Accelererat test av såväl hjul som räl ska kunna genomföras, likaväl som accelererat test av båda. | Riggen ska konstrueras så att testförloppet kan ske för ett helt hjulvarv. Då får man en lika accelererad test av både hjul och räl. Accelererat test av hjul eller räl bör kunna ske. |

Testrigg

Funktionslösningar och konceptförslag

Innehåll

| | |
|---|----|
| 1 Inledning..... | 2 |
| 2 Delfunktioner för testriggen | 3 |
| 3 Funktionslösningar | 4 |
| 3.1 Rörelsegenerering..... | 4 |
| 3.2 Kraftgenerering | 7 |
| 3.3 Slirningshämning | 10 |
| 3.4 Positionering av hjul och räl | 12 |
| 3.5 Styvhet och dämpning..... | 12 |
| 4 Utvärdering av funktionslösningar | 14 |
| 4.1 Rörelsegenerering..... | 14 |
| 4.2 Kraftgenerering | 14 |
| 4.3 Slirningshämning | 15 |
| 4.4 Positionering | 15 |
| 4.5 Styvhet och dämpning..... | 15 |
| 5 Konceptförslag till testrigg | 16 |
| 5.1 Konceptförslag nr 1 | 16 |
| 5.2 Konceptförslag nr 2..... | 17 |
| 5.3 Konceptförslag nr 3..... | 18 |
| 5.4 Konceptförslag nr 4..... | 19 |
| 5.5 Konceptförslag nr 5..... | 20 |
| 5.6 Konceptförslag nr 6..... | 21 |
| 5.7 Konceptförslag nr 7 | 22 |
| 6 Kommentarer till rörelsegenereringen..... | 23 |

| <u>Rev</u> | <u>Datum</u> | <u>Status</u> |
|------------|--------------|---|
| 1 | 980514 | Sammanställning av dokumenten "subfunktioner" rev 2, "konceptlösningar" rev 1 och "JVG1-C-03" rev 1 till detta dokument. |
| 2 | 980515 | Uppdatering av innehåll. |
| 3 | 980518 | Uppdatering av innehåll. |
| 4 | 980526 | Uppdatering av innehåll. |
| 5 | 980818 | Godkänd |

1 Inledning

Arbetet med att hitta förslag till konstruktiv utformning av testrigger, koncept, har skett i fyra steg:

1. Identifiering av ett antal enkla delfunktioner som testrigger ska utföra.
2. Framtagning av ett antal funktionslösningar för varje delfunktion, samt beskrivning av deras för- och nackdelar.
3. Utvärdering av funktionslösningarna baserat på hur väl kravspecifikationen kan uppfyllas och respektive funktionslösning för- och nackdelar.
4. Sammanställning av de mest lämpliga funktionslösningarna, från punkt 3, till ett antal konceptförslag.
5. Val av de mest lämpliga konceptförslagen från punkt 4. Dessa studeras närmare vad gäller uppfyllelse av kravspecifikation, realiserbarhet och kostnad.

Punkt 1 till 4 i konceptframtagningsfasen beskrivs i denna bilaga. Punkt 5 beskrivs i bilaga 3, dokumentnummer JVG1-C-07, och i bilaga 4, dokumentnummer JVG1-C-08.

Det som styr framtagningen av funktionslösningar och konceptförslag är kravspecifikationen enligt dokumentnummer JVG1-C-05.

Avslutningsvis kommenteras några av de största problemen med testrigger. Det gäller testfrekvensens och teststräckans inverkan på accelerationer och krafter i testrigger.

2 Delfunktioner för testrigger

För att lättare finna lämpliga koncept för testrigger som uppfyller kravspecifikationen definieras ett antal enkla delfunktioner. Delfunktionerna leder till att komplexiteten i konstruktionen minskas.

Delfunktionerna som testrigger ska skapa är:

- Rörelsegenerering Testrigger ska skapa en linjär rörelse mellan hjul och räl.
- Kraftgenerering Testrigger ska skapa en varierbar vertikal last/kraft.
- Slirningshämning Testrigger ska förhindra glidning i kontakten mellan hjul och räl. Ren rullning ska åstadkommas.
- Positionering av hjul/räl Testrigger ska positionera kontakten mellan hjul och räl med god noggrannhet.
- Styvhet och dämpning Testrigger ska kunna simulera underbyggnadens egenskaper.

3 Funktionslösningar

För varje delfunktion definierad i kapitel 2, tas ett antal funktionslösningar fram. Funktionslösningarna presenteras nedan.

3.1 Rörelsegenerering

Rörelsegenereringens funktion är att skapa en linjär rörelse mellan hjul och räl.

De olika funktionslösningarna med deras för- och nackdelar presenteras kortfattat nedan.

3.1.1 Vevsläng med konstant radie

Vevsläng med konstant radie består av ett svänghjul, vars rotationsrörelse omvandlas till en linjär rörelse med hjälp av en vevstake.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---|
| Billig Enkel Slitstark Jämnt fördelad accelerationer Enkelriktad rörelse hos kraftkällan Få lagringspunkter | Saknar intervall med konstant hastighet för vevstakens rörelse Stora dimensioner |

3.1.2 Vevsläng med variabel radie

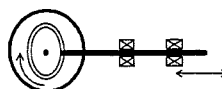
Fungerar som föregående funktionslösning, men med den skillnaden att det radiella avståndet till vevstakens infästning på svänghjulet kan varieras för att få ett område med konstant hastighet på vevstaken.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|---|
| Fördelaktig hastighetsprofil Enkelriktad rörelse hos kraftkällan | Stora dimensioner Kräver komplex lagring |

3.1.3 Svänghjul med spår

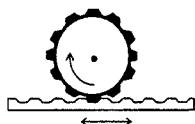
Består av en linjärt lagrad axel vars ena ände är lagrat i ett spår i ett svänghjul. Spårets form bestämmer axelns linjära rörelse.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|--|
| Billig Enkel Enkelriktad rörelse hos kraftkällan Få lagringspunkter Fördelaktig hastighetsprofil | Stora dimensioner Kräver komplex lagring Liten slaglängd i förhållande till dimensionerna på svänghjulet |

3.1.4 Kuggstång, rak

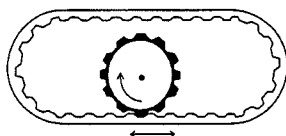
En linjär fram och återgående rörelse på kuggstången fås av ett roterande kugghjul.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|--|
| Enkel Få lagringspunkter Små dimensioner | Dubbelriktad rörelse hos kraftkällan Slitstyrka |

3.1.5 Kuggstång, sluten bana

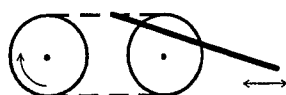
Består av ett cirkulärt kugghjul som driver en kuggstång med invändiga kuggar som bildar en sluten bana.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|-------------------|
| Små dimensioner Enkelriktad rörelse hos kraftkällan Fördelaktig hastighetsprofil | Slitstyrka Dyr |

3.1.6 Kedja med vevstake mellan två kedjehjul

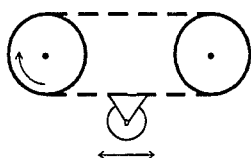
Består av en kedja som löper mellan två kedjehjul. Med hjälp av en vevstake som sitter monterad på kedjan fås en linjär rörelse.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|---|
| Små dimensioner Enkelriktad rörelse hos kraftkällan Enkel Fördelaktig hastighetsprofil | Slitstyrka Stora toleranser på rörelsen Koncentrerad accelerationsfas |

3.1.7 Kedja med hjulaxel mellan två kedjehjul

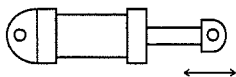
Består av en kedja som löper mellan två kedjehjul. På kedjan monteras en eller flera hjulaxlar.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|--|
| Enkelriktad rörelse hos kraftkällan Fördelaktig hastighetsprofil Konstant rörelsemängd, konstant hastighet Hjulens rotationsriktning ändras ej | Enkelriktat lastfall Kontakt/Stötproblem vid av- och pålastning Svårt uppnå positioneringskrav |

3.1.8 Hydraulcylinder

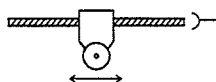
Rörelsen skapas med en linjär hydraulcylinder.



| Fördelar | Nackdelar |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Små dimensioner | Slitstyrka |
| Enkel | Dubbelriktad rörelse hos kraftkällan |
| Fördelaktig hastighetsprofil | Kräver stora flödes hastigheter |

3.1.9 Skruv med höger- och vänstergänga

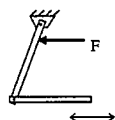
En linjär rörelse skapas med en skruv som har både höger- och vänstergänga. "Muttern" som sitter på skruven får en fram och återgående rörelse när skruven roterar.



| Fördelar | Nackdelar |
|-------------------------------------|------------|
| Små dimensioner | Slitstyrka |
| Fördelaktig hastighetsprofil | Kostnad |
| Enkelriktad rörelse hos kraftkällan | |

3.1.10 Pendelmekanism

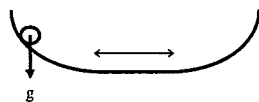
Av en pendels svängningar fås en linjär rörelse med en vevstake eller annan mekanism.



| Fördelar | Nackdelar |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Enkelriktad rörelse hos kraftkällan | Dubbelriktad rörelse hos kraftkällan |
| Stor slaglängd | Stora dimensioner |

3.1.11 Använda tyngdkraften för att starta och stoppa hjulaxeln i lutande plan

Med hjälp av lutande plan på bägge sidor om rälens teststräckor utnyttjas tyngdkraften för att få hjulaxeln att starta och stanna.



| Fördelar | Nackdelar |
|------------------------------|---|
| Enkel | Låg frekvens |
| Stor slaglängd | Stora dimensioner |
| Fördelaktig hastighetsprofil | Måste kompletteras med en annan rörelsegenererare |
| Energin återanvänds | |

3.1.12 Kommentarer till rörelsegenerering

Ovanstående funktionslösningar kan behöva kompletteras med någon slags mekanism för utväxling av rörelsen/kraften för att kunna realiseras.

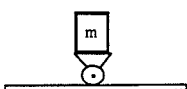
3.2 Kraftgenerering

Kraftgenereringen ska skapa en lateral kraft/last på hjulaxeln under testet.

De olika funktionslösningarna för kraftgenerering med deras för- och nackdelar presenteras kortfattat nedan.

3.2.1 Fysisk massa på hjulaxeln

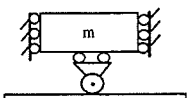
En rörlig massa som motsvarar lasten placeras på hjulaxeln.



| Fördelar | Nackdelar |
|---------------------------|---|
| Enkel Alltid jämn last | Medför stor masströghet Stora krafter vid drift med intermittent last Skapar stor belastning på övriga komponenter Kräver hög effekt |

3.2.2 Fysisk massa belastar hjulaxeln utan translation

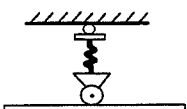
En stillastående massa placeras ovanför hjulaxeln. Pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|---------------------------|--|
| Enkel Alltid jämn last | Stora krafter vid drift med intermittent last Skapar stor belastning på vissa komponenter |

3.2.3 Fjäderelement på hjulaxeln

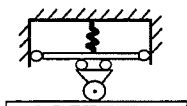
Ett rörligt fjäderelement placerat på hjulaxeln pressar ner den mot rälen.



| Fördelar | Nackdelar |
|-----------------------------|--|
| Enkel Relativt jämn last | Stora krafter vid drift med intermittent last Svårjusterad Svårbestämd last Fjädern måste åka med axeln |

3.2.4 Fjäderelement belastar hjulaxeln utan translation

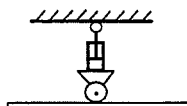
Ett stillastående fjäderelement placeras ovanför hjulaxeln. Pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|-----------------------------|--|
| Enkel Relativt jämn last | Stora krafter vid drift med intermitterent last Svårjusterad Svårbestämd last Kan skapa ojämn kraftfördelning |

3.2.5 Hydraulisk last på hjulaxeln

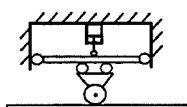
En rörlig hydraulcylinder placerad på hjulaxeln pressar ner den mot rälen.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|--|
| Standardkomponenter Lättjusterad last Lätt att åstadkomma drift med intermitterent last Dubbelverkande cylindrar ger fördelar vid lyft av axeln | Rörlig cylinder kräver rörlig förbindelse mellan pump och cylinder |

3.2.6 Hydraulisk last belastar hjulaxeln utan translation

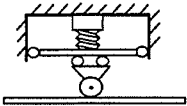
En stillastående hydraulcylinder placeras ovanför hjulaxeln. Pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---------------------------------|
| Standardkomponenter Lättjusterad last Lätt att åstadkomma drift med intermitterent last Dubbelverkande cylindrar ger fördelar vid lyft av axeln | Kan skapa ojämn kraftfördelning |

3.2.7 Last via skruvtvingsprincipen

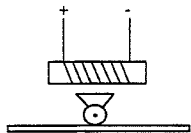
En skruvdomkraft placeras ovanför hjulaxeln. Pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|--------------------------------|---|
| Ger fördelar vid lyft av axeln | Trögjusterad och svårbestämd last Stora toleranser Svårt att leverera jämn last |

3.2.8 Elektromagnetisk last

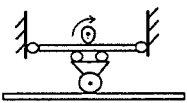
En elektromagnet placeras ovanför hjulaxeln. Pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---|
| Lättjusterad last Lätt att åstadkomma drift med intermittent last Ger fördelar vid lyft av axeln | Dyr Stora magnetfält stör övrig utrustning Kräver stora stömstyrkor och höga spänningar Svårbestämd last Svårt att leverera jämn last |

3.2.9 Last via kamprofil

En kamprofil eller annan mekanism som styrs av rörelsemekanismen pressar ner hjulaxeln då den passerar teststräckan.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---|
| Lätt att åstadkomma drift med intermittent last Lätt att synkronisera med translationen | Svårbestämd last Svårt att leverera jämn last Svårjusterad last |

3.2.10 Kommentarer till kraftgenerering

Dessa funktionslösningar kan behöva kompletteras med någon slags mekanism alternativt kombineras för att kunna realiseras.

3.3 Slirningshämning

Slirningshämningen ska förhindra glidning mellan hjulen och rälen under testet

De olika funktionslösningarna för slirningshämning med deras för- och nackdelar presenteras kortfattat nedan.

3.3.1 Rotationsdämpare

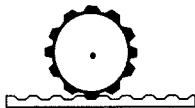
Hjulet bromsas under retardation. Kan kompletteras med ABS-teknik.



| Fördelar | Nackdelar |
|------------------------------|---|
| Enkel Bra vid retardation | Ökar risken för slirning vid acceleration |

3.3.2 Styrd rotation

Kan åstadkommas med ett kugg- eller kedjehjul med samma diameter som hjulen som följer en kedja eller kuggstång.



| Fördelar | Nackdelar |
|----------|---|
| Enkel | Svårjusterad Kan förorsaka slirning vid dålig kalibrering Slitagekänslig Känslig kalibrering |

3.3.3 Ökad glidfriktion (kemiskt)

Minska risken för slirning genom att öka friktionen mellan hjul och räl med någon typ av beläggning.

| Fördelar | Nackdelar |
|----------|---|
| Enkel | Kan påverka resultaten Ej verklighetsbaserad |

3.3.4 Lagra respektive avge energi med fjäderelement

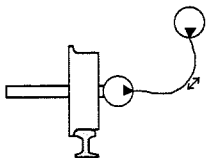
Med hjälp av fjädrar minskas risken för slirning genom att ta upp energi under inbromsning och avge den under acceleration.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---------------------------|
| Relativt lätt att kalibrera efter geometri och rörelsemönster Ger låg traktionskraft mellan hjul och räl (välkalibrerad) Relativt okänslig för slitage och deformationer Möjligt att anpassa upptagning och avgivning av energi till den rörelsestyrda utvecklingen av masströghetsenergi | Slitstyrka Utmattnings |

3.3.5 Lagra respektive avge energin hydrauliskt

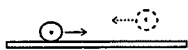
Med hjälp av hydraulik minskas risken för slirning genom att ta upp energi under inbromsning och avge den under acceleration.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|---|
| Relativt lätt att kalibrera efter geometri och rörelsemönster Ger låg traktionskraft mellan hjul och räl (välkalibrerad) Relativt okänslig för slitage och deformationer Möjligt att anpassa upptagning och avgivning av energi till den rörelsestyrda utvecklingen av masströghetsenergi | Hastigheten vid växlingen mellan upptagning och avgivning av energin Komplext regleringssystem Slitstyrka |

3.3.6 Lyfta hjulaxeln i en riktning

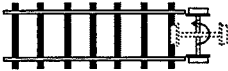
Genom att lyfta hjulen från rälen i en riktning undviks problemet med att ändra rotationsriktning på hjulen.



| Fördelar | Nackdelar |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Hjulets rotationsriktning ändras ej | Belastning endast i en riktning |

3.3.7 Roterar hjulaxeln i ändläget

Genom att rotera hjulaxeln i ändläget undviks problemet med att ändra rotationsriktning på hjulen.



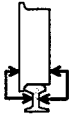
| Fördelar | Nackdelar |
|-------------------------------------|---|
| Hjulets rotationsriktning ändras ej | Belastning i två riktningar för rälen Rotationen tar tid |

3.4 Positionering av hjul och räl

För att positionera hjulen mot rälen under testet har följande funktionslösningar tagits fram.

3.4.1 Mekanisk styrning mellan ett hjul och en räl

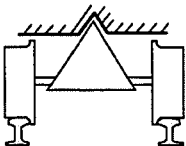
Ett av hjulen tvingas mekaniskt följa en räl.



| Fördelar | Nackdelar |
|--------------------------------------|--|
| Små toleranser (liten toleranskedja) | Svårt att hitta en bra (opåverkad) referenspunkt pga rälets toleranser, deformation och slitage Påverkar/sliter på rälsen |

3.4.2 Mekanisk styrning av hjulaxeln

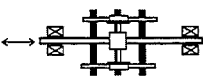
Hjulaxeln styrs mekaniskt för att följa ett spår. Med optisk eller mekanisk lägesregistrering kontrolleras gränsvärdet för att manuell eller kontinuerlig justering ska kunna ske.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|---|
| Enkel justering Möjlighet att kontinuerligt registrera variationen i avvikelserna. | Justering endast vid stillestånd Svårt att hitta en bra (opåverkad) referenspunkt pga rälets toleranser, deformation och slitage |

3.4.3 Rörelsemekanismen styr hjulaxeln

Styrning sker genom att hjulaxeln är låst vid rörelsegenereringens drivaxel. Denna är låst så att den endast kan följa en bestämd linje.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|--|
| Gemensamma lagringspunkter - enkel, färre lagringar | Gemensamma lagringspunkter - större total tolerans Stort krav på parallellitet mellan translationsrörelsen och rälsen |

3.5 Styvhet och dämpning

För att simulera underbyggnadens egenskaper har följande funktionslösningar tagits fram.

3.5.1 Mekaniska fjädrar och dämpare simulerar underbyggnad

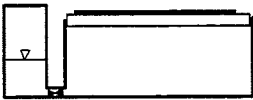
Underbyggnaden simuleras med hjälp av fjädrar och dämpare. Fjädrarna kan bestå av fjädrerelement, balkar eller gummimaterial. Överbyggnaden med ballast, slipers och räl kan tex placeras i en låda på den simulerade underbyggnaden.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|--|
| Billig Möjligt att justera fjädrings- och dämpningsegenskaperna Överbyggnaden placeras i en låda - flexibelt | Svårt att uppnå en naturtrogen rörelse Utmattning/slitage |

3.5.2 Hydraulisk fjädring och dämpning

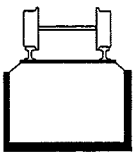
Underbyggnaden simuleras med hjälp av innesluten vätska. Överbyggnaden med ballast, slipers och räl kan tex placeras i en låda på den simulerade underbyggnaden.



| Fördelar | Nackdelar |
|---|--|
| Lätt att justera fjädrings- och dämpningsegenskaperna Överbyggnaden placeras i en låda - flexibelt | Svårt att uppnå en naturtrogen rörelse Utmattning/slitage |

3.5.3 Underbyggnaden simuleras med lämpliga material i en grav.

Underbyggnaden simuleras genom att bygga upp denna med olika massor i en gjuten grav. Överbyggnaden med ballast, slipers och räl kan tex placeras direkt på underbyggnaden.



| Fördelar | Nackdelar |
|--|------------------------------------|
| Relativt verklighetstrogen Billigt material | Tidskrävande att byta underbyggnad |

4 Utvärdering av funktionslösningar

Av de funktionslösningar som presenteras i kapitel 3 anses följande vara mest lämpade för att användas i testriggen. Urvalet baseras på de angivna för- och nackdelarna med respektive lösning.

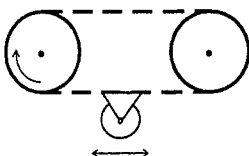
4.1 Rörelsegenerering

Följande funktionslösningar anses mest lämpliga:



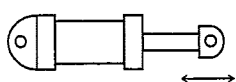
Funktionslösning 3.1.1.

Vevsläng med konstant radie, då den är enkel och består av beprövad teknik.



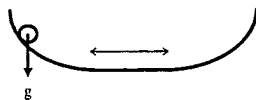
Funktionslösning 3.1.7.

Kedja med axel mellan två kedjehjul, då den är enkel och ger en teststräcka med konstant hastighet.



Funktionslösning 3.1.8.

Hydraulcylinder, då den är enkel, kompakt och ger en teststräcka med konstant hastighet.

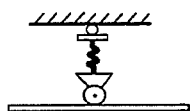


Funktionslösning 3.1.11.

Använda tyngdkraften för att starta och stoppa hjulaxeln i lutande plan, då den är enkel, energin återanvänds och ger en teststräcka med konstant hastighet.

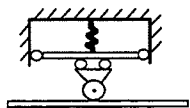
4.2 Kraftgenerering

Följande funktionslösningar anses mest lämpliga:



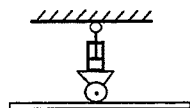
Funktionslösning 3.2.3.

Fjäderelement på axel, då den består av enkla komponenter som ger ett enkelt system.



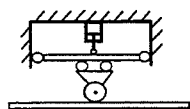
Funktionslösning 3.2.4.

Fjäderelement belastar axel utan translation, då den består av enkla komponenter som ger ett enkelt system.



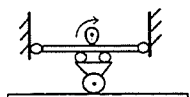
Funktionslösning 3.2.5.

Hydraulisk last på axeln, då lasten blir enkel att justera och variera.



Funktionslösning 3.2.6.

Hydraulisk last belastar axel utan translation, då lasten blir enkel att justera och variera.

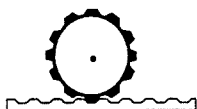


Funktionslösning 3.2.9.

Last via kamprofil, då den kan synkroniseras med svänghjulet.

4.3 Slirningshämning

Följande funktionslösningar anses mest lämpliga:



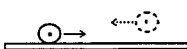
Funktionslösning 3.3.2.

Styrd rotation, då den ger hjulet en tvingad rörelse.



Funktionslösning 3.3.4.

Lagra respektive avge energi med fjäderelement, då energin som tas upp vid inbromsning kan återanvändas vid accelerationen.



Funktionslösning 3.3.6.

Lyfta hjulaxeln i en riktning, då det är en enkel lösning för att undvika byte av rotationsriktning.

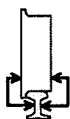


Funktionslösning 3.3.7.

Rotera hjulaxeln i ändläget, då det är en enkel lösning för att undvika byte av rotationsriktning.

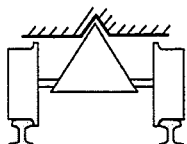
4.4 Positionering

Följande funktionslösningar anses mest lämpliga:



Funktionslösning 3.4.1.

Mekanisk styrning mellan ett hjul och en räl, då det ger en noggrann styrning mellan hjul och räl.

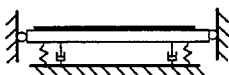


Funktionslösning 3.4.2.

Mekanisk styrning av hjulaxeln, då det ger möjlighet att skapa en stabil styrning som tål stora krafter.

4.5 Styvhet och dämpning

Följande funktionslösning anses mest lämplig:



Funktionslösning 3.5.1.

Mekaniska fjädrar och dämpare simulerar underbyggnad, då det ger en kompakt lösning som är enkel att justera.

5 Konceptförslag till testrigg

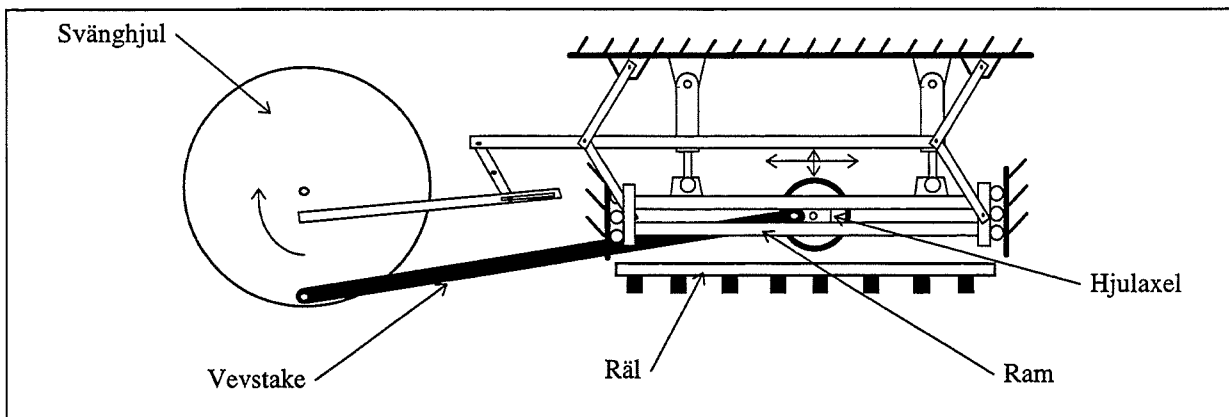
Med utgångspunkt från de lämpliga funktionslösningarna i kapitel 4 har sju konceptförslag för testriggen framarbetats. Förslagen presenteras kortfattat nedan.

5.1 Konceptförslag nr 1

Förslag nr 1 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Vevsläng med konstant radie enligt 3.1.1.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt enligt 3.2.6.
- Slirningshämning: Hjulaxeln lyfts från rälen enligt 3.3.6, med hjälp av en mekanism driven av svänghjulet.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk styrning av axeln enligt 3.4.2.

Svänghjulet driver vevstaken som ger en fram och återgående rörelse åt hjulaxeln. Hjulaxeln lagras i hydrostatiska lager i en ram. Ramen lyfter hjulaxeln, via mekanik driven av svänghjulet, i ena åkriktningen samt positionerar hjulaxeln i förhållande till rälen. I och med lyftet av hjulaxeln undviks slirning då byte av rotationsriktning hos hjulet ej behöver ske. Den vertikala lasten läggs på med hydraulcylindrar under teststräckan.



Figur 1. Schematisk skiss konceptförslag 1.

5.1.1 Kommentarer till konceptförslag 1

Enkel rörelsegenerering som dock ej ger en konstant hastighet.

Relativt jämnt fördelad accelerations och retardationsfas.

Stor massa (hjulaxeln) som ska skjutas fram och tillbaka.

Svår lastpåläggning då lasten ska läggas på den rörliga hjulaxeln.

Slipers, ballast och underbyggnad kan tas med i testriggen.

Stora dimensioner på svänghjulet om testet ska ske för ett helt hjulvarv.

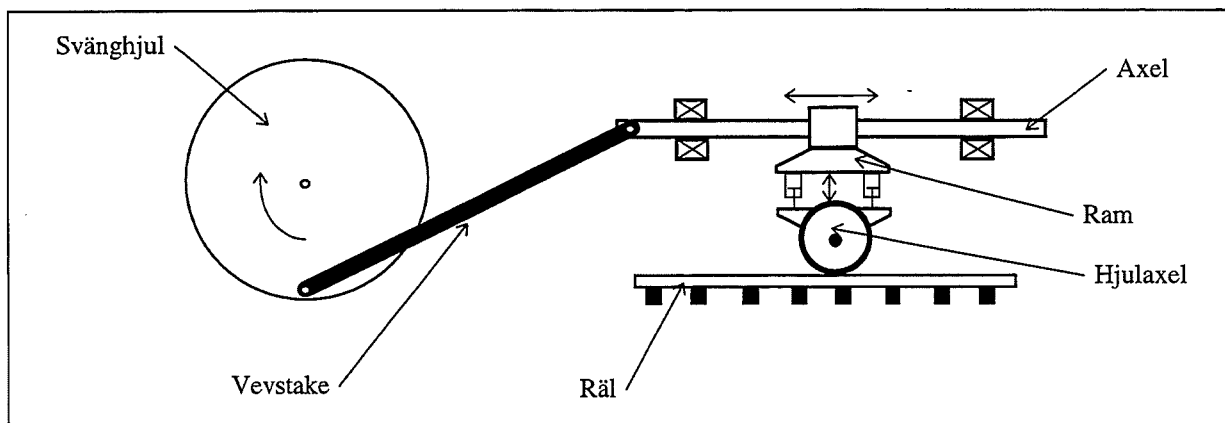
Mycket mekanik, svårt att hålla toleranser.

5.2 Konceptförslag nr 2

Förslag nr 2 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Vevsläng med konstant radie enligt 3.1.1.
- Kraftgenerering: Hydraulcylinder på hjulaxeln enligt 3.2.6.
- Slirningshämning: Hjulaxeln lyfts från rälen enligt 3.3.6 med hjälp av hydraulcylindrar.
- Positionering av hjul/räl: Rörelsemekanismen positionerar axeln enligt 3.4.3.

Svänghjulet driver vevstaken som ger en fram och återgående rörelse åt axeln som hjulaxeln via ramen är fäst vid. Axeln lagras så att den kan positionera hjulaxeln med tillräcklig noggrannhet. I ramen placeras hydraulcylindrar som skapar den vertikala lasten i ena riktningen samt lyfter hjulaxeln i den andra åkriktningen. I och med lyftet av hjulaxeln undviks slirning då byte av rotationsriktning hos hjulet ej behöver ske.



Figur 2. Schematisk skiss konceptförslag 2.

5.2.1 Kommentarer till konceptförslag 2

Enkel rörelsegenerering som dock ej ger en konstant hastighet.

Relativt jämnt fördelad accelerations och retardationsfas.

Stor massa (hjulaxeln och axel) som ska skjutas fram och tillbaka.

Enkel lastpåläggning via hydraulik. Problem att tillföra flöde och tryck till en rörlig hjulaxel med frekvent kraftig acceleration och retardation.

Drivning och positionering via samma axel. Osäkert om tillräcklig positioneringsnoggrannhet kan uppnås.

Slipers, ballast och underbyggnad kan tas med i testriggen.

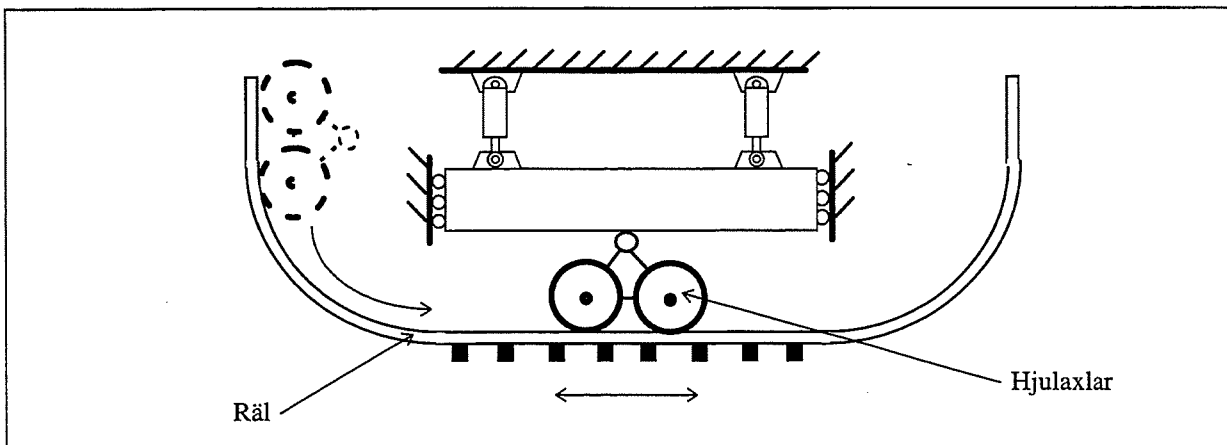
Stora dimensioner på svänghjulet om testet ska ske för ett helt hjulvarv.

5.3 Konceptförslag nr 3

Förslag nr 3 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Tyngdkraft i lutande plan enligt 3.1.11.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt enligt 3.2.6.
- Slirningshämning: Ingen slirningshämning pga lugn inbromsning.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk styrning av axeln enligt 3.4.2.

Rörelsegenereringen fås med hjälp av lutande plan. Hjulaxeln släpps från en given höjd och får rulla över teststräckan. Vertikal belastning sker via hydraulcylindrar. Kombineras med annan kraft källa för att kompensera för energiförluster. Kraftkällan lyfter upp hjulaxeln till den givna höjden och släpper den.



Figur 3. Schematisk skiss konceptförslag 3.

5.3.1 Kommentarer till konceptförslag 3

Relativ konstant hastighet under testförloppet.

Endast låg frekvens kan åstadkommas, < 1 Hz.

Jämnt fördelad accelerations och retardationsfas.

Enkelt system.

Svårt få jämn lastfördelning då lasten ska läggas på den rörliga hjulaxeln.

Slipers, ballast och underbyggnad kan tas med i testtriggen.

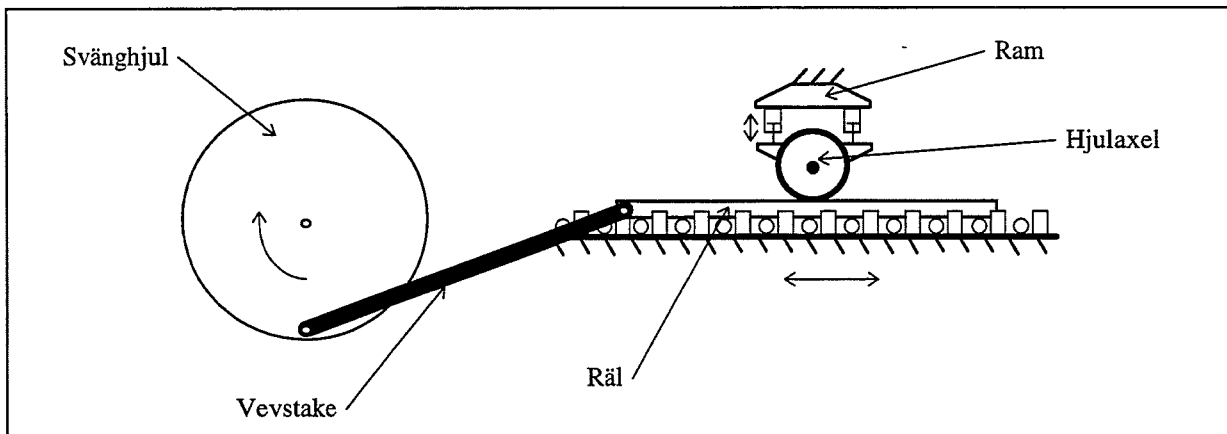
Svårt åstadkomma noggrann styrning då rörelsesträckan är lång.

5.4 Konceptförslag nr 4

Förslag nr 4 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Vevsläng med konstant radie enligt 3.1.1 för rälen fram och åter.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt på stillastående axel enligt 3.2.5.
- Slirningshämning: Hjulen lyfts från rälen enligt 3.3.6 med hjälp av hydraulcylindrar under återslaget.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk/hydraulisk styrning av axeln enligt 3.4.2.

Svänghjulet driver vevstaken som ger en fram och återgående rörelse åt rälen. Hjulaxeln är stillastående och upphängd i en ram. I ramen placeras hydraulcylindrar som skapar den vertikala lasten i ena riktningen samt lyfter hjulaxeln i den andra åkriktningen. I och med lyftet av hjulaxeln undviks slirning då byte av rotationsriktning hos hjulet ej behöver ske. Positioneringen av hjul och räl sker via mekanisk styrning av rälen och hydraulisk styrning av hjulaxeln.



Figur 4. Schematisk skiss konceptförslag 4.

5.4.1 Kommentarer till konceptförslag 4

Enkel rörelsegenerering som dock ej ger en konstant hastighet.

Relativt jämnt fördelad accelerations och retardationsfas.

Relativt stor massa (räl) som ska skjutas fram och tillbaka.

Stillastående hjulaxel gör det enkelt att lägga på lasten.

Slipers, ballast och underbyggnad kan ej tas med i testriggen, då rälen är rörlig.

Stora dimensioner på svänghjulet om testet ska ske för ett helt hjulvarv.

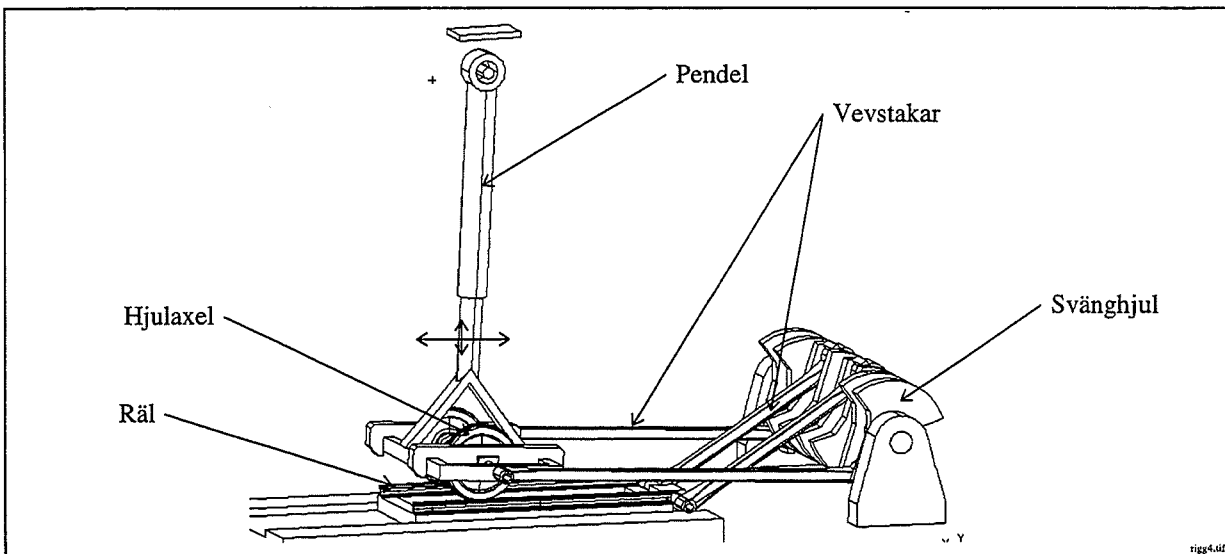
Positionering mellan hjul och räl med god noggrannhet kan ordnas.

5.5 Konceptförslag nr 5

Förslag nr 5 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Vevsläng med konstant radie enligt 3.1.1 för både rälen och hjulaxel fram och åter.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt enligt 3.2.5 via en pendel som verkar på hjulaxeln.
- Slirningshämning: Hjulen lyfts från rälen enligt 3.3.6 med hjälp av hydraulcylindern i pendeln.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk styrning enligt 3.4.2 av pendeln och rälen.

Svänghjulet driver via två vevstakar både hjulaxeln och rälen. Hjulaxeln är upphängd i en teleskopisk pendel. I pendeln placeras en hydraulcylinder som skapar den vertikala lasten i ena riktningen samt lyfter hjulaxeln i den andra åkriktningen. I och med lyftet av hjulaxeln undviks slirning då byte av rotationsriktning hos hjulet ej behöver ske. Positioneringen av hjul och räl sker via mekanisk styrning av rälen och pendeln.



Figur 5. Schematisk skiss konceptförslag 5.

5.5.1 Kommentarer till konceptförslag 5

Lägre relativa accelerationer kan åstadkommas då både hjulaxel och räl är rörliga.

Enkel rörelsegenerering som dock ej ger en konstant hastighet.

Relativt jämnt fördelad accelerations och retardationsfas.

Stora massor då både hjul och räl ska skjutas fram och tillbaka.

Slipers, ballast och underbyggnad kan ej tas med i testriggen, då rälen är rörlig.

Positionering mellan hjul och räl med god noggrannhet kan vara svårt att ordna, då både räl och hjulaxel är rörlig.

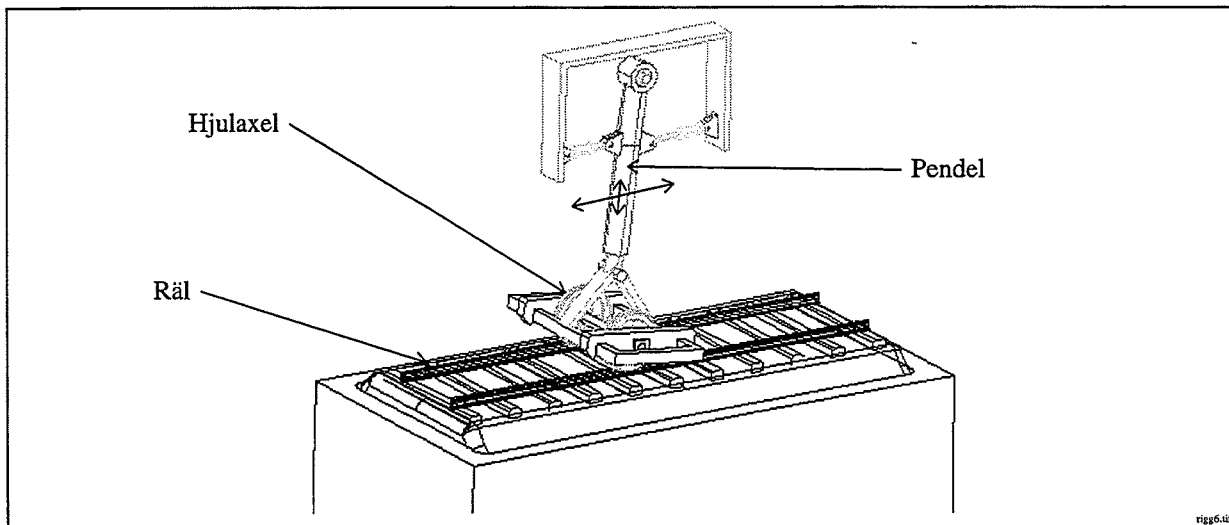
Avancerat reglersystem för att åstadkomma konstant last under testfasen.

5.6 Konceptförslag nr 6

Förslag nr 6 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Hydraulcylindrar för hjulaxeln fram och åter enligt 3.1.8 via en pendel.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt enligt 3.2.5 via pendeln som verkar på hjulaxeln.
- Slirningshämning: Hjulen lyfts från rälen enligt 3.3.6 med hjälp av en hydraulcylinder i pendeln.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk styrning av pendeln enligt 3.4.2.

Hjulaxeln är upphängd i en teleskopisk pendel. I pendeln placeras en hydraulcylinder som skapar den vertikala lasten i ena riktningen samt lyfter hjulaxeln i den andra åkriktningen. I och med lyftet av hjulaxeln undviks slirning då byte av rotationsriktning hos hjulet ej behöver ske. Den fram och återgående rörelsen skapas genom hydraulcylindrar som för pendeln fram och åter. Positioneringen av hjulen sker via mekanisk styrning av pendeln.



Figur 6. Schematisk skiss konceptförslag 6.

5.6.1 Kommentarer till konceptförslag 6

Kompakt konstruktion.

Avancerat reglersystem för att åstadkomma konstant last under testfasen.

Stor massa (hjulaxeln) som ska skjutas fram och tillbaka.

Svårigheter att positionerna hjul och räl med god noggrannhet.

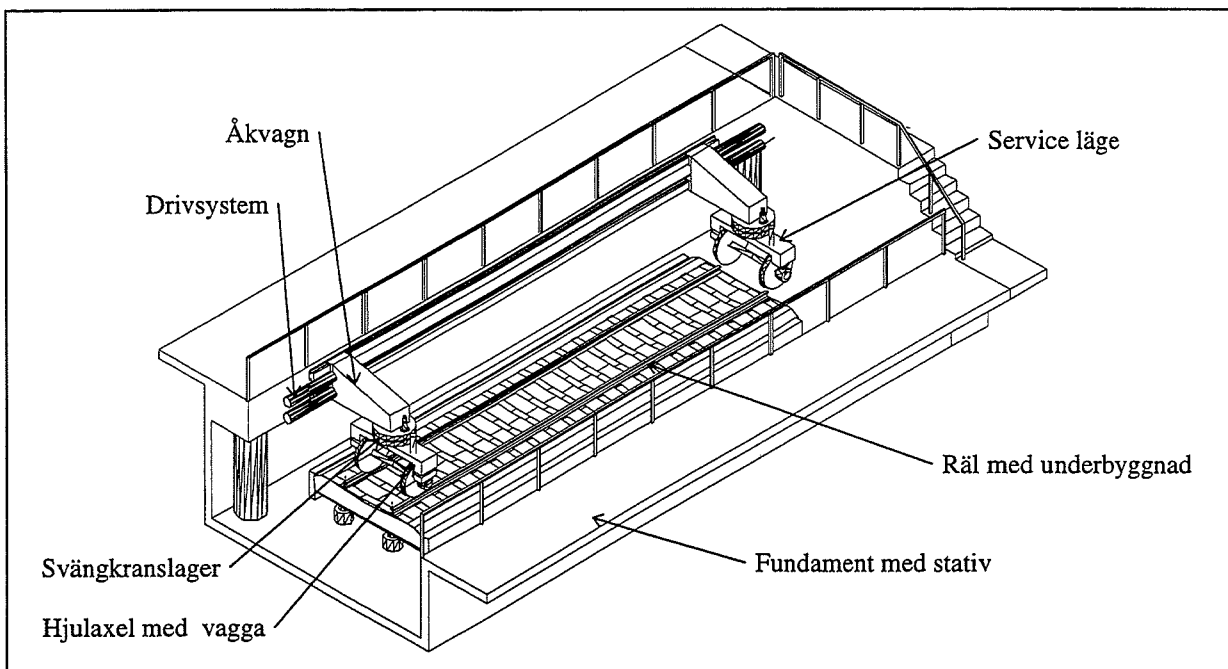
Slipers, ballast och underbyggnad kan tas med i testtriggen.

5.7 Konceptförslag nr 7

Förslag nr 7 består av följande funktionslösningar:

- Rörelsegenerering: Hydraulcylindrar enligt 3.1.8 skjuter iväg hjulaxeln.
- Kraftgenerering: Lasten läggs på hydrauliskt på hjulaxeln enligt 3.2.5.
- Slirningshämning: Hjulaxeln roteras i ändläget enligt 3.3.7.
- Positionering av hjul/räl: Mekanisk styrning av hjulaxeln enligt 3.4.2.

För att generera åkrörelsen används en åkvagn och hydrauliska broms och accelerationscylindrar. Stillastående räls och underbyggnad ca 12-15 m lång. Hjulaxeln sitter monterad i en svängkranslagrad vagger, som är justerbar i höjd och sidled med hjälp av hydraulcylindrar som även genererar last i vertikal- och sidled. För att undvika slirning och för att simulera enkelriktad last lyfts och roteras axeln i ändläget med svängkranslagringen.



Figur 7. Schematisk skiss konceptförslag 7.

5.7.1 Kommentarer till konceptförslag 7

Enkel lastpåläggning via hydraulik. Problem att tillföra flöde och tryck till en rörlig hjulaxel med frekvent kraftig acceleration och retardation.

Låg frekvens om enkelriktad last ska åstadkommas för både hjul och räl.

Stor massa (hjulaxeln) som ska skjutas fram och tillbaka.

Slipers, ballast och underbyggnad kan tas med i testriggen.

Liten acceleration och jämn hastighet under teststräckan.

6 Kommentarer till rörelsegenereringen

Enligt kravspecifikationen vill man utföra ett lika accelererat test för både hjul och räl med en frekvens av 2 Hz. Det innebär att teststräckan ska vara en sträcka motsvarande omkretsen på hjulet, ca 3 meter, och testet ska ske 2 gången per sekund. Dessa krav leder till stora accelerationer och krafter i testriggen. Förutom teststräckans längd och frekvensen påverkar även de rörliga massornas storlek den resulterande accelerationen och kraften i testriggen.

En av de rörelsegenereringmetoderna som anses som mest intressant är lösningen med en vevsläng med konstant radie. Tabellen nedan visar hur hastigheten och accelerationen ändras för ett system med svänghjul och vevstake om vevradien varieras mellan 0.5 och 2 meter, dvs en teststräcka på 1 till 4 meter, och rotationshastigheten varieras mellan 30 och 120 varv per minut, dvs 0.5 till 2 Hz. Värdena som anges är de maximala hastigheterna och accelerationerna under cykeln.

| Vevradie (m) | a = acceleration (m/s^2) | Rotationshastighet | | |
|-----------------|------------------------------|--------------------|---------------|----------------|
| | v = hastighet (m/s) | 30 rpm (0,5 Hz) | 60 rpm (1 Hz) | 120 rpm (2 Hz) |
| 0.5 | a | 4.9 | 19.7 | 79.0 |
| | v | 1.6 | 3.1 | 6.3 |
| 1.5 | a | 14.8 | 59.2 | 237.0 |
| | v | 4.7 | 9.4 | 18.8 |
| 2.0 | a | 19.7 | 79.0 | 316.0 |
| | v | 6.3 | 12.6 | 25.1 |

Tabell 1. Medelhastighet och medelacceleration i änden av vevstaken som funktion av vevradien och rotationshastigheten.

I samband med den fram och återgående rörelsen uppstår stora accelerationskrafter vid start och stopp. De största krafterna kommer av axelns masströghet vid riktningssändringen, men en betydande kraft uppstår även då hjulens rotationsriktning ändras i samband med start och stopp. Ska kraven enligt kravspecifikationen uppfyllas innebär det att radien helst ska vara 1.5 meter och frekvensen 2 Hz vilket innebär att accelerationen blir $237 m/s^2$. Dessa värden ger med en uppskattad vikt på den monterade axeln på 3 000 kg en kraft på totalt 850 kN i vändningarna. Rotationströghetsmomentet hos axel och hjulpar ger 137 kN och axelns masströghet ger 711 kN. Rotationströghetsmoment hos axeln är beräknat för hjulpar av typ 46 HM med totalvikt på ca 1400 kg.

För att minska krafterna kan man göra följande:

1. Lyfta axeln innan den vänder och sätta ner den igen när hjulens rotationshastighet och axelns hastighet sammanfaller. Problemet med slirning mellan hjul och räl minskar också.
2. Minska accelerationen, detta då kraften är proportionell mot accelerationen. Det kan göras genom att minska vevradien, dvs teststräckan, eller sänka frekvensen.
3. Minimera de rörliga massornas storlek. Det låter sig göras till en viss del. Men då standard hjulaxlar ska användas är det svårt att minska dessa massor radikalt.

Testrigg

Beskrivning av konceptet

Rörlig räl

Innehåll

| | |
|---|----|
| 1 Inledning..... | 2 |
| 2 Beskrivning av konceptet - Rörlig räl..... | 3 |
| 3 Konstruktion och komponenter | 5 |
| 3.1 Svänghjul..... | 5 |
| 3.2 Vevstake | 5 |
| 3.3 Räl med ram | 6 |
| 3.4 Hjulaxel med ram..... | 6 |
| 3.5 Hydraulsystem..... | 7 |
| 3.6 Drivsystem | 8 |
| 3.7 Fundament med stativ | 8 |
| 4 Kinetik | 9 |
| 4.1 Hastighet och acceleration | 9 |
| 4.2 Lagerkrafter..... | 11 |
| 4.3 Uppstartstid och varvtalsvariation..... | 12 |
| 4.4 Testfrekvensens inverkan på maximal acceleration..... | 12 |
| 5 Investeringskostnad | 13 |
| 6 Jämförelse med kravspecifikation | 14 |
| 7 Realicerbarhet..... | 18 |

| <u>Rev</u> | <u>Datum</u> | <u>Status</u> |
|------------|--------------|--|
| 1 | 980515 | Utkast |
| 2 | 980526 | Uppdaterat innehåll |
| 3 | 980527 | Uppdaterat innehåll |
| 4 | 980528 | Tillägg av Jämförelse med kravspecifikation och Realicerbarhet |
| 5 | 980818 | Godkänd |

1 Inledning

Dokumentet beskriver konceptet Rörlig räl vad gäller konstruktion, komponenter, kinetik, investeringskostnad, hur väl konceptet uppfyller kravspecifikationen samt kommentarer om testriggens realicerbarhet.

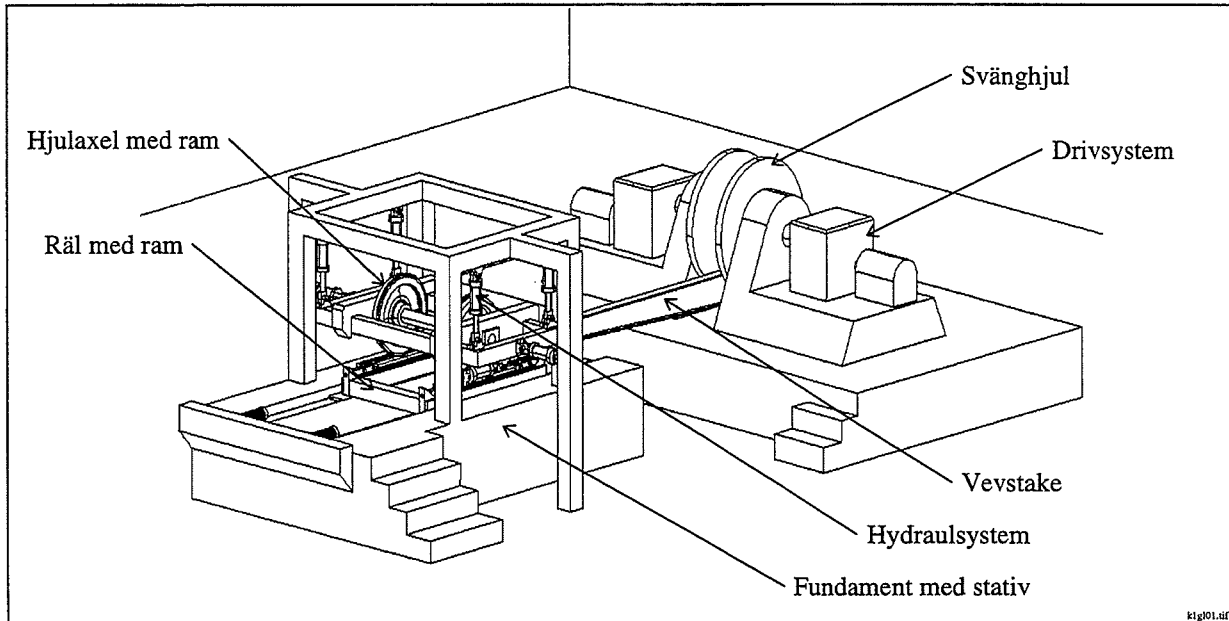
Det valda konceptet är ett av konceptförslagen i dokumentet JVG1-C-06 "Funktionslösningar och konceptförslag", nämligen konceptförslag 4. Konceptet har valts då:

- stillastående hjulaxel ger enkel lastpåläggning
- genom lyftning av hjulaxeln undviks byte av rotationsriktning hos hjulen vilket leder till minskad risk för glidning
- rörlig räl ger mindre rörlig massa än rörlig hjulaxel, vilket leder till lägre masskrafter och minskat effektbehov
- positionering av läget för kontakten mellan hjul och räl kan göras noggrann då hjulaxeln är stillastående och rälen är fixerad i en ram
- enkel rörelsegenerering med svänghjul och vevstake.

Konceptet har framarbetats av Conex AB.

2 Beskrivning av konceptet - Rörlig räl

Konceptet bygger på rörlig räl och stillastående hjulaxel. Se Figur 1.



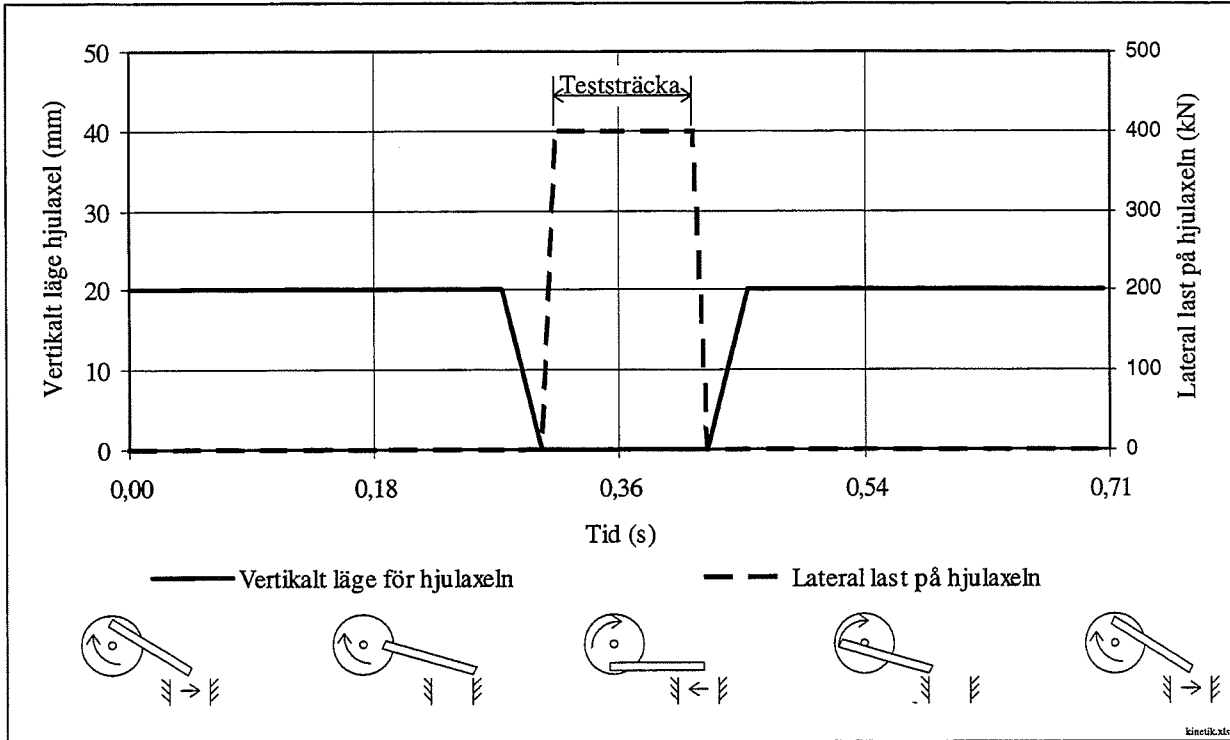
Figur 1. Testrigg - Rörlig räl.

För att generera rörelsen används ett svänghjul med vevstake. Rälens fästs på en ram som skjuts fram och åter med hjälp av vevstaken. Ramen lagras mot fundamentet med ett glidlager. Hjulaxeln monteras i en stillastående ram. Den positioneras i höjd- och sidled med hjälp av hydraulcylindrar som även genererar last i vertikal- och sidled.

För att undvika slirning i samband med byte av rotationsriktning för hjulen i vändläget samt för att minska effektbehovet lyfts axeln i en färdriktning med hjälp av hydraulcylindrarna. I och med detta skapas även enkelriktad last. Lyftet sker vid en viss hastighet hos rälens och det är viktigt att hjulet sätts ned mot rälens när de åter har samma hastighet. Under lyftet roterar hjulet fritt, vilket innebär att rotationsenergin bibehålls. Sekvensen för lyftning av hjulaxeln och lastpåläggningen visas i Figur 2.

Teststräckans längd bestäms av tillåten acceleration för vilken ren rullning mellan hjul och räl kan garanteras. Längden av provsträckan kan varieras mellan olika test beroende på vilken acceleration som kan tillåtas. Testriggens kinetik beskrivs i kapitel 4.

För att lagerkrafterna i vevstaken inte ska bli orimligt stora och accelerationen i horisontell riktning för rälens inte ska bli så stor att rullning inte kan garanteras maximeras frekvensen till 1.4 Hz. Frekvensens inverkan på accelerationen beskrivs i kapitel 4.4.



Figur 2. Sekvens för lyftning av hjulaxeln och lateral last på hjulaxeln. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid de angivna tidpunkterna.

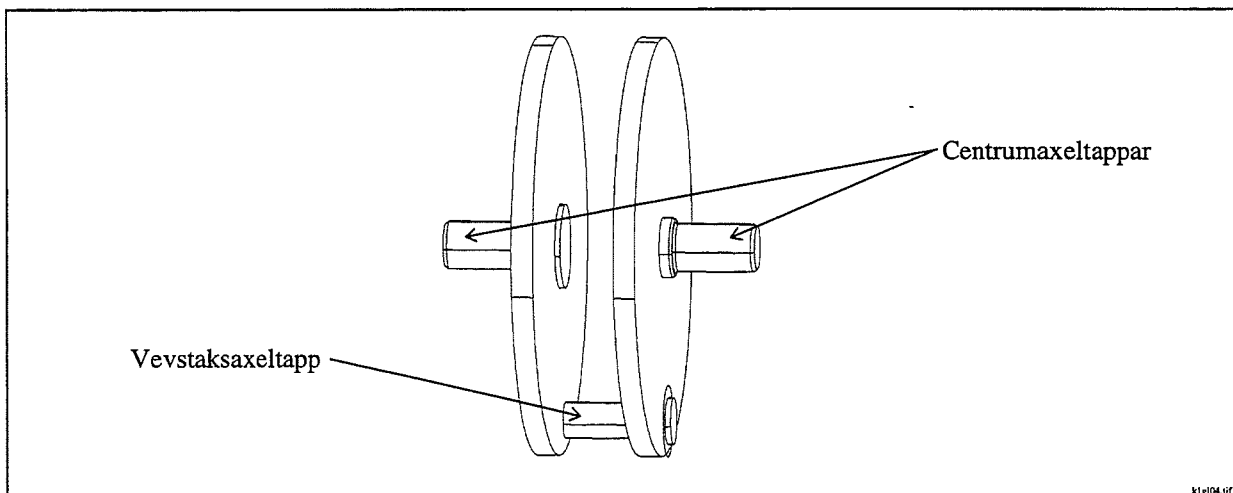
3 Konstruktion och komponenter

3.1 Svänghjul

Svänghjulet består två cirkulära skivor och tre axeltappar, två centrumaxeltappar och en vevstaksaxeltapp. Se Figur 3. Avståndet mellan centrumaxeltappen och vevstaksaxeltappen, vevradien, är 0.75 meter. Det innebär att slaglängden blir 1.5 meter. Axeltapparna monteras mot skivorna med bult och kilförband.

Svänghjulet ska jämna ut variationerna i krafter från vevstaken under en cykel. Därigenom kan motoreffekten hållas ner och rotationshastigheten hållas konstant. För att detta ska uppfyllas ska massan hos svänghjulet vara minst 5000 kg.

För att hålla ihop svänghjulet vid transport och montering monteras två axlar liknande vevstaksaxeln mellan skivorna.

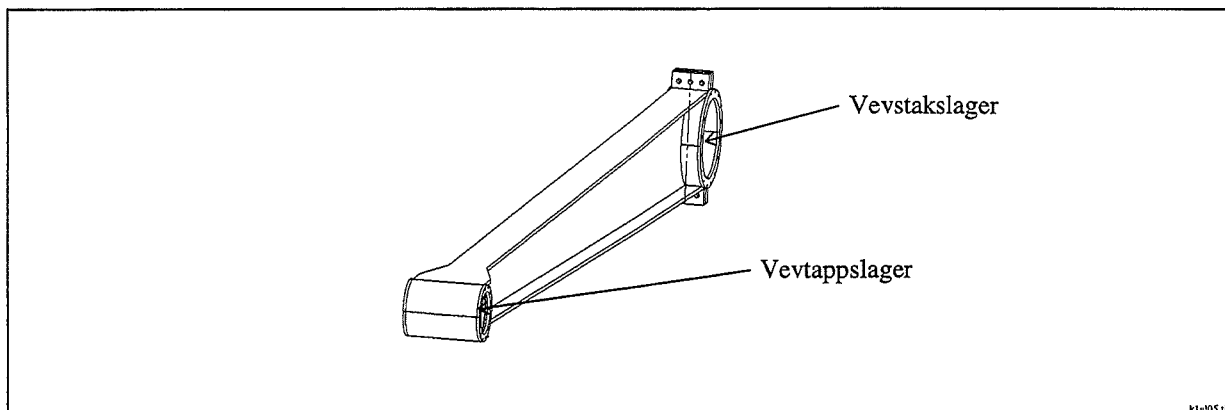


Figur 3. Svänghjul med axeltappar.

3.2 Vevstake

Centrumavståndet mellan lagringarna på vevstaken är 4 meter. Vevstaken svetsas samman av plåtar och ämnesrör. Se Figur 4. Den beräknas väga ca 400 kg. Vevstakens massa ska vara så liten som möjligt.

Vevstaken förses med rullager vid svänghjulet och glidlager i andra änden. För att underlätta montering och demontering görs lagersätet mot svänghjulet delbart. Delarna fogas samman med bultar.



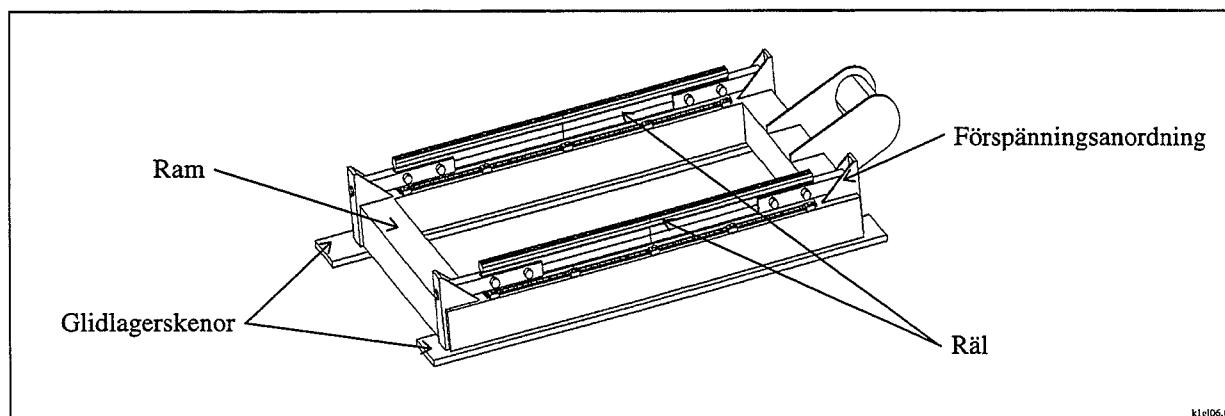
3.3 Räl med ram

Rälen monteras på en 2.5 meter lång ram som ska ta upp krafterna som verkar på rälen och föra dem vidare ner i fundamentet. Ramen tillverkas av stålälmen. Se Figur 5. Rälen med ram väger tillsammans ca 1200 kg. Ramens massa ska vara så liten som möjligt.

För att simulera temperaturvariationer i rälen finns en anordning för att förspänna rälen. Den önskade temperaturvariationen, -30 till $+50^{\circ}\text{C}$, ger att förspänningskraften blir drygt 600 kN. För att undvika deformationer i vertikalled bör ramen utformas så att förspänningskraften ligger i dess neutrallager.

Ramens undersida lagras mot fundamentet via ett glidlager. Lagrets underdel monteras i fundamentet. Lagringen ska ta upp krafter i vertikal- och sidled.

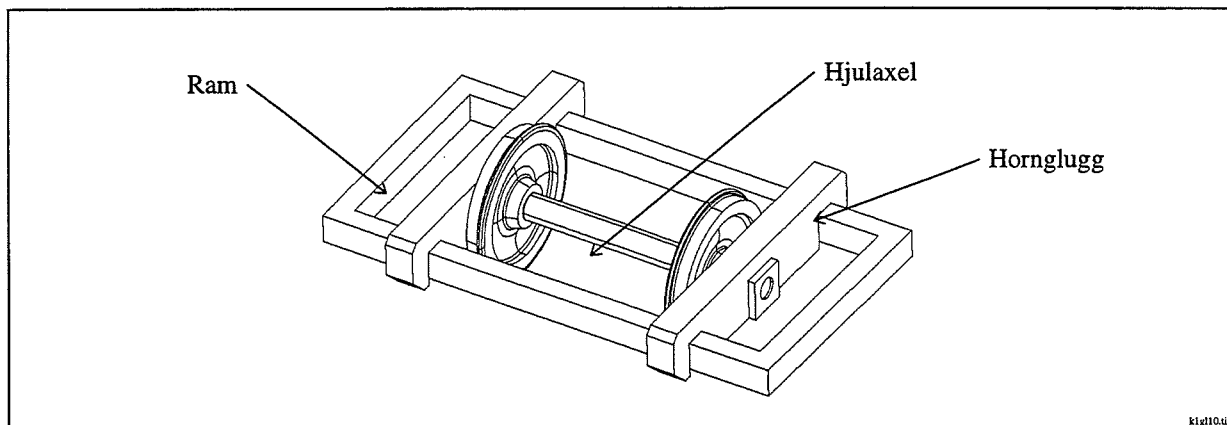
Vevstaken monteras i ramens framkant med ett glidlager.



3.4 Hjulaxel med ram

Hjulaxeln monteras via lagerboxarna i en ram med hjälp av specialkonstruerade hornluggar. Se Figur 6. Primärfjädringen hos axeln behålls. Axel ska kunna lyftas vilket innebär att det vertikala spelet måste begränsas. Eftersom det är ett krav på noggrann positionering mellan

hjul och räl får hornluggarna inte tillåta någon rörelse i sidled. För att kunna testa hjulaxlar med olika spårvidder ska hornluggens läge på ramen kunna förskjutas.



Figur 6. Hjulaxel med ram.

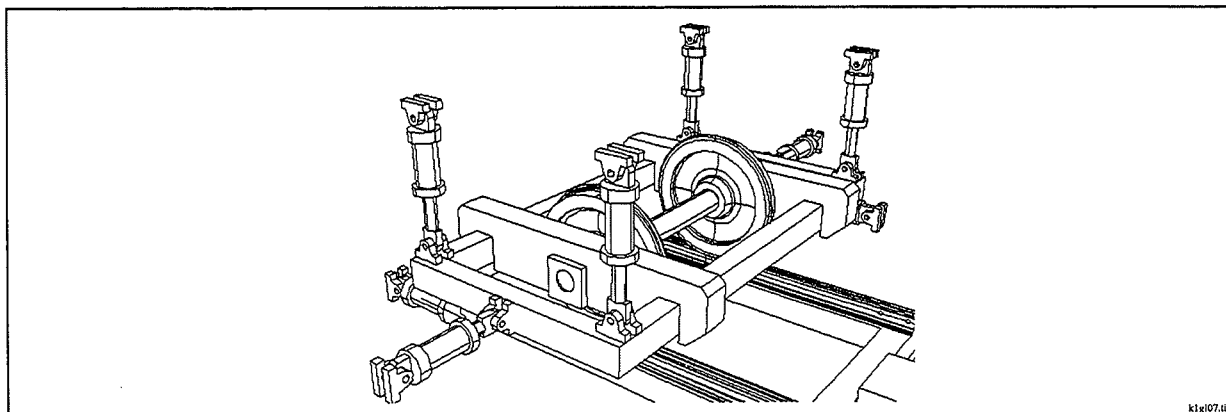
3.5 Hydraulsystem

Hydraulsystemet används för att lyfta och positionera hjulaxeln samt för att åstadkomma vertikal- och sidkrafter. Se Figur 7. Systemet måste arbeta snabbt, exakt och mjukt. Det ska klara av att sätta ned hjulaxeln och bygga upp ett tryck som ger erforderlig vertikallast på några hundradels sekunder. Detta ska ske med en frekvens av 1.4 Hz under 15 milj cykler. Sekvensen (nedsättning av hjulaxel och lastpåläggning) måste ske med mycket god noggrannhet.

De vertikala cylindrarna används för att lyfta axeln samt för att skapa en vertikal kraft på maximalt 400 kN. För att skapa sidkrafterna och snedställa hjulaxeln används cylindrar som presterar minst 250 kN.

Systemtrycket bör ligga över 250 bar för att inte få onödigt stora dimensioner och installerad effekt måste vara ca 55 kW.

För att styra hydraulsystemet används en reglerutrustning. Den ska klarar av att styra hydraulsystemet så att kraven på positionering och lastpåläggning kan uppfyllas samt att det ska vara enkelt att justera inställningar mellan och under ett test.

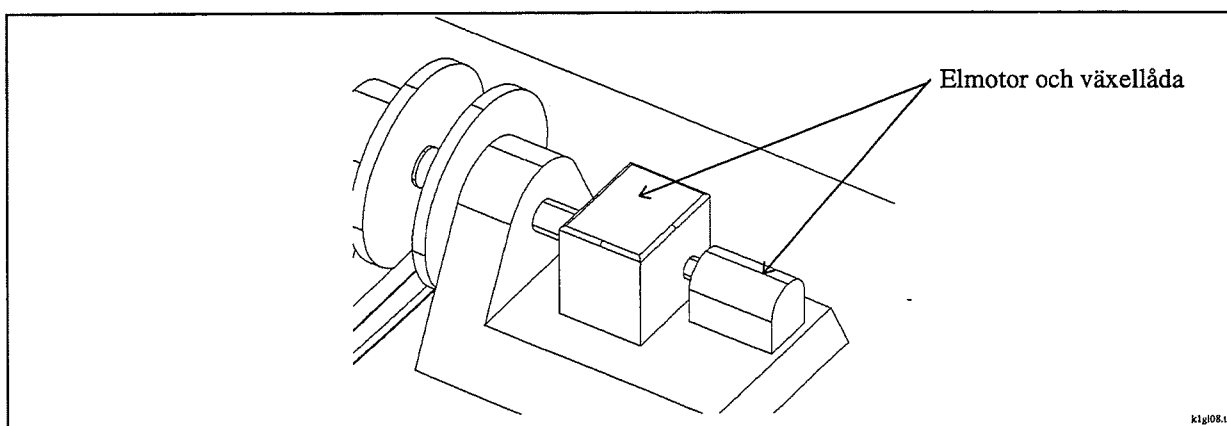


Figur 7. Hydraulsystem.

3.6 Drivsystem

För att driva svänghjulet används två asynkronmotorer med växellådor. En på vardera sidan om svänghjulet. Se Figur 8. Dessa kopplas till svänghjulet med en lämplig typ av koppling, t ex bågtagandskoppling. Detta för att minska kraven på parallellitet mellan svänghjulets centrumaxel och utgående axel på växellådan samt mellan växellådan och motorn.

För att driva riggen måste asynkronmotorerna ha en sammanlagd effekt på ca 300 kW. Genom att optimera svänghjulet kan denna effekt minskas. Om kravet att testa bromsar i riggen föreligger krävs dock en betydligt högre effekt. Varvtalstyrningen sker med frekvensomriktare.



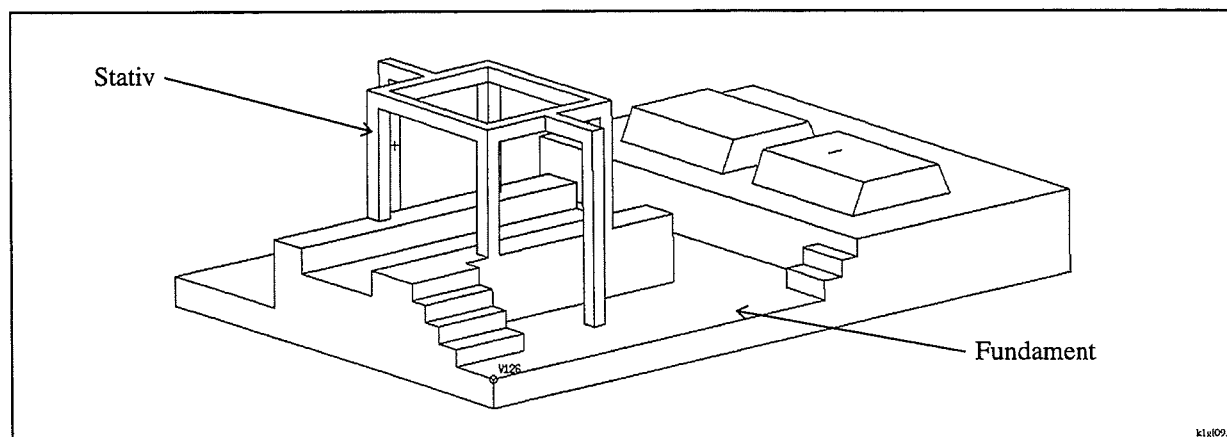
Figur 8. Drivsystem.

3.7 Fundament med stativ

Testriggen placeras på ett gjutet fundament som dimensioneras för att ta upp de krafter och vibrationer som genereras i testriggen. Se Figur 9.

Lämplig dimension på fundamentet är 12 x 8 meter. I fundamentet gjuts fästelement för stativet, drivsystemet och lagringen av rälens ram in.

För att ta upp de krafter som uppstår i samband med positionering och lastpåläggning på hjulaxeln byggs ett stativ upp av stålbalkar.



Figur 9. Fundament med stativ.

4 Kinetik

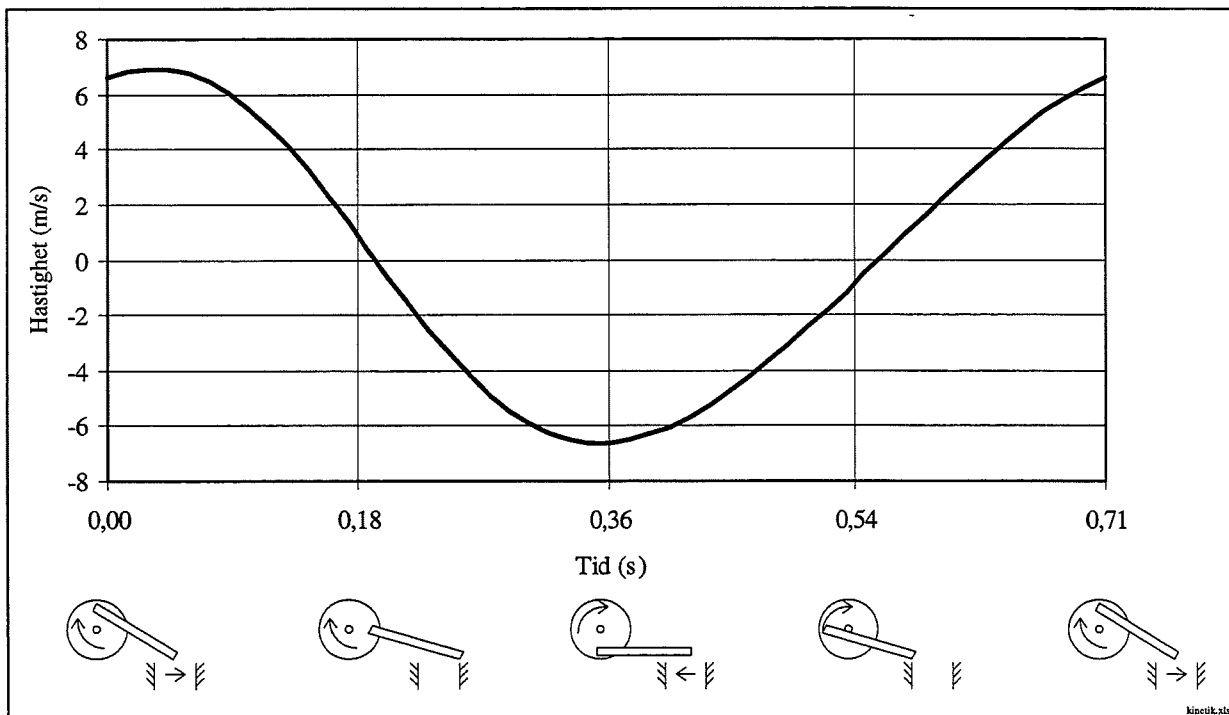
Det som påverkar systemets kinetik är vevradien, testfrekvensen, de rörliga delarnas massor (svänghjulet, vevstaken och rälen med ram) samt vevstakens längd.

Svänghjulets vevradie är 0.75 meter. Vevstaken är 4 meter från vevstakslagrets centrum till vevtapplagerts centrum. Vevstakens vikt beräknas bli ca 400 kg. Totala vikten för räl med ram beräknas bli ca 1200 kg. Testfrekvensen är maximerad till 1.4 Hz.

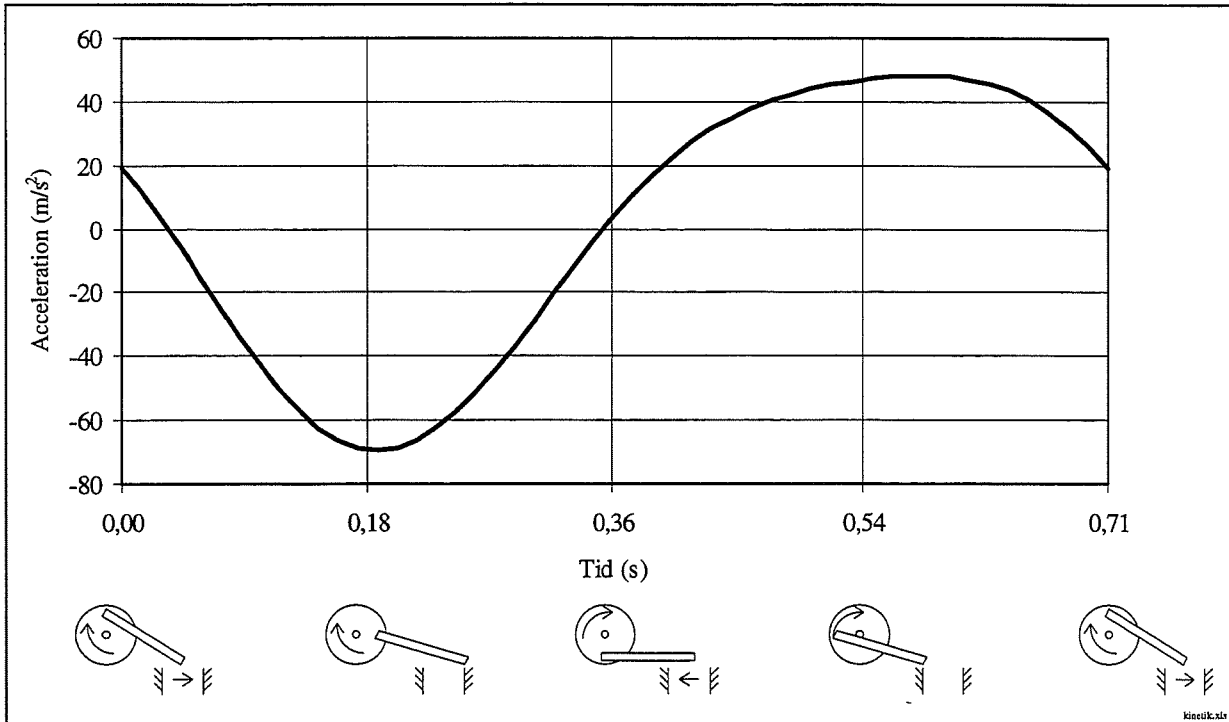
4.1 Hastighet och acceleration

Vid en frekvens på 1.4 Hz (cykeltid 0.71 s) blir maximal hastighet ca 7 m/s och maximal acceleration ca 70 m/s^2 under en cykel. Se figur Figur 10 och Figur 11. Hastighetens och accelerationens variation som funktion av läget visas i Figur 12 och Figur 13.

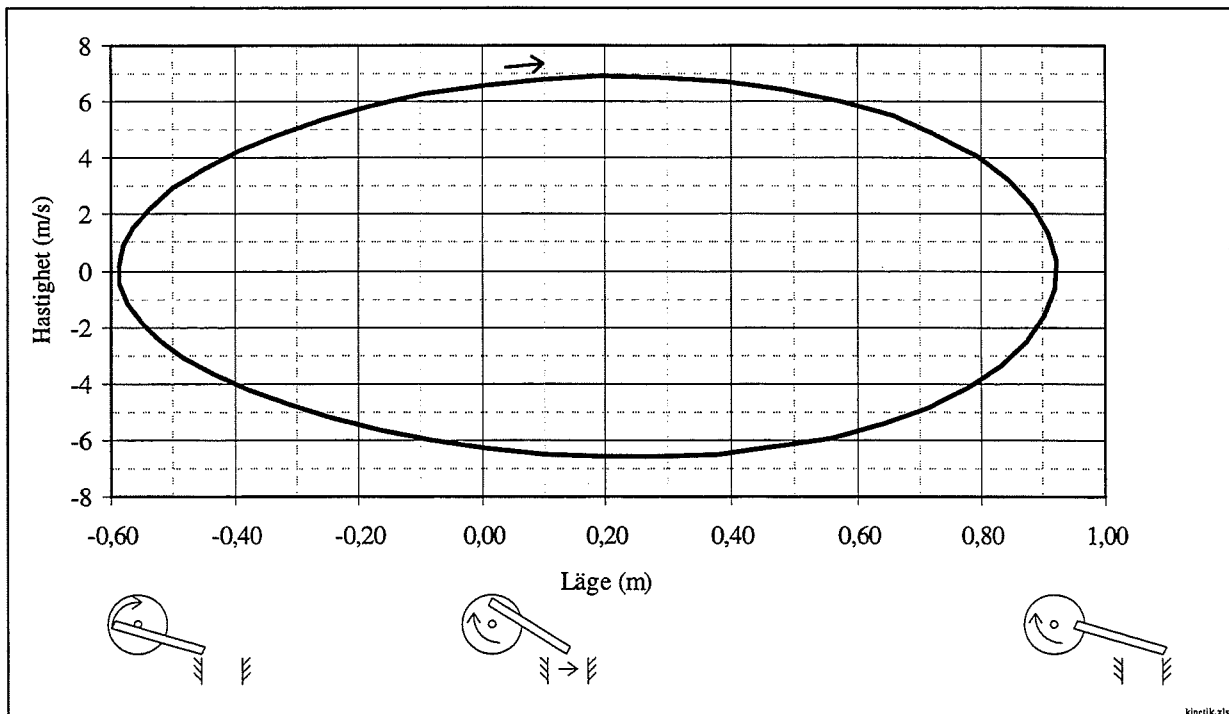
Av Figur 13 kan man utläsa hur lång teststräcka man kan tillåta för en given acceleration. Som exempel ger kravet på en friktionskraft som är maximalt 2% av normalkraften ger en maximalt tillåten acceleration på ca 14 m/s^2 . Detta ger en teststräcka på ca 30 cm.



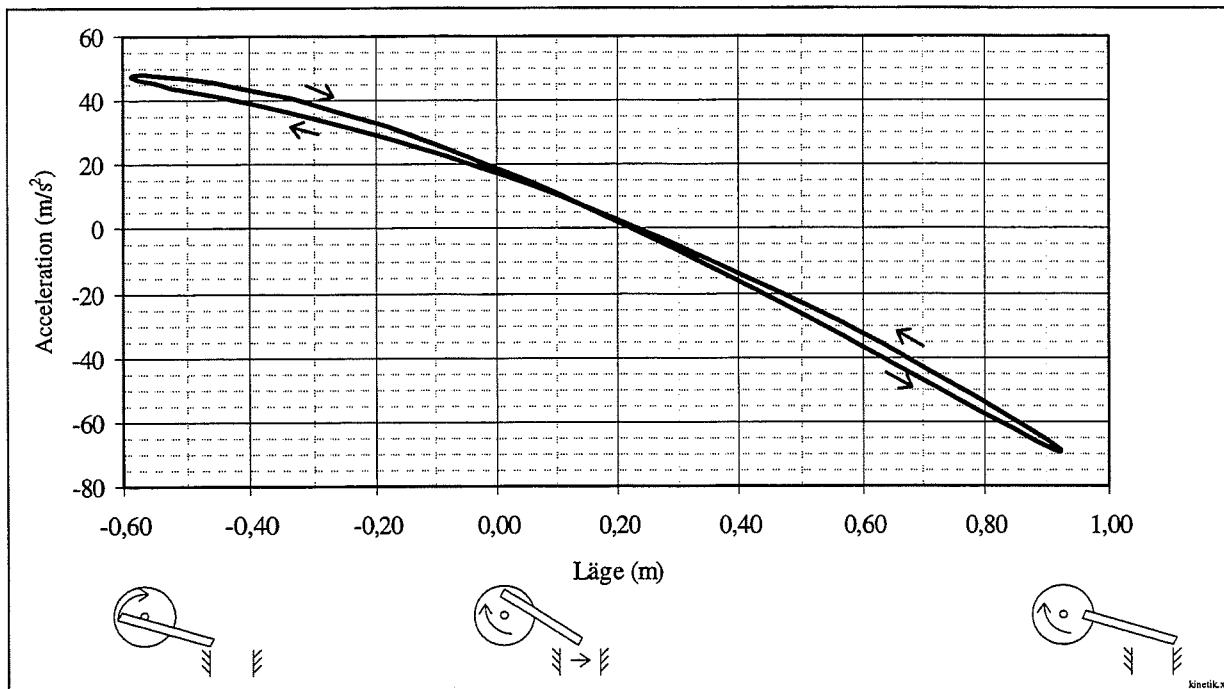
Figur 10. Rälens hastighet som funktion av tiden. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid de angivna tidpunkterna.



Figur 11. Rälens acceleration i horisontell led som funktion av tiden. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid de angivna tidpunkterna.



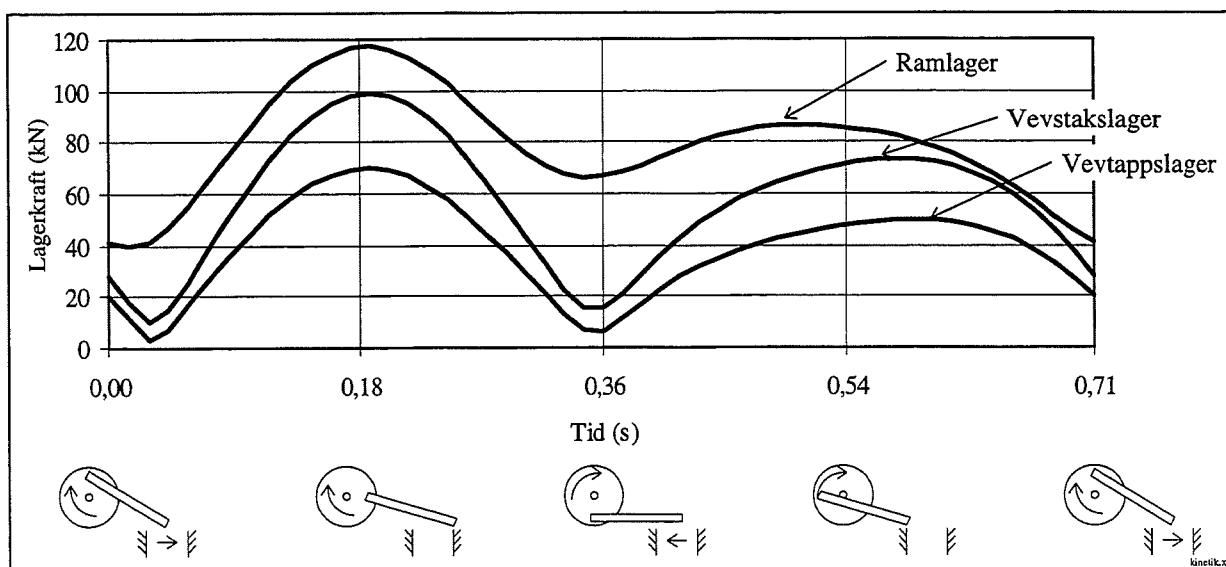
Figur 12. Rälens hastighet i horisontell led som funktion av läget. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid läget 0 samt vid vändlägena.



Figur 13. Rälens acceleration i horisontell led som funktion av läget. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid läget 0 samt vid vändlägena.

4.2 Lagerkrafter

Accelerationen och de rörliga massorna ger upphov till lagerkrafter i svänghjul och vevstake. Av Figur 14 framgår hur lagerkrafterna varierar i ramlaget, vevstakslaget och vevtappslaget under en cykel. I ramlaget blir den maximala kraften ca 120 kN och i vevstakslaget ca 100 kN. Maximal kraft i vevtappslaget vid infästningen mot rälens blir ca 70 kN.



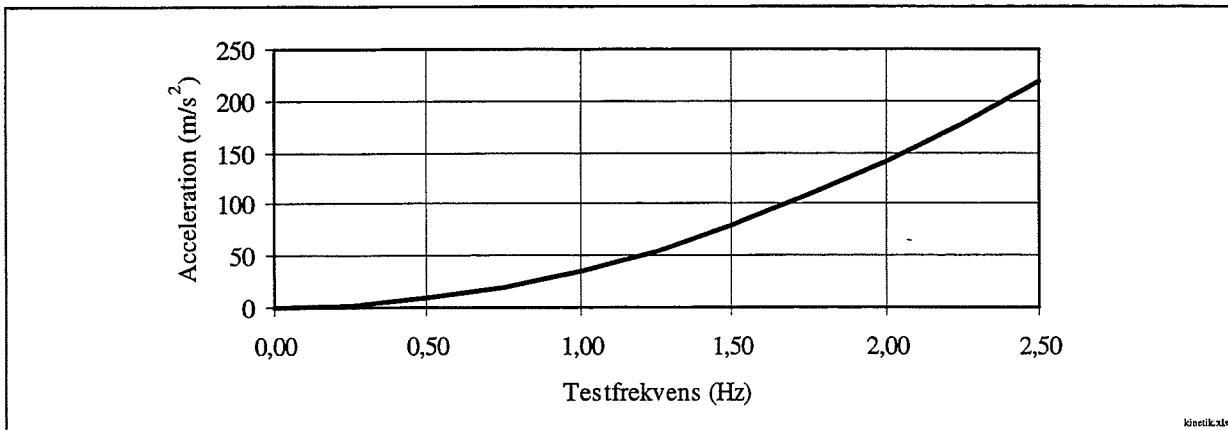
Figur 14. Kraft i lager som funktion av tiden. Kurvorna tar hänsyn till kinetiska krafter och gravitationen. Bilderna under diagrammet visar svänghjulets och vevstakens ungefärliga position vid de angivna tidpunkterna.

4.3 Uppstartstid och varvtalsvariation

Med den angivna motoreffekten 300 kW är uppstartstiden några sekunder. Med massan 5000 kg hos svänghjulet varierar rotationshastigheten ca 4% under ett varv.

4.4 Testfrekvensens inverkan på maximal acceleration

Testfrekvensen inverkar kraftigt på maximal acceleration under en cykel. Ur Figur 15 fås att genom att minska frekvensen från 2 Hz till 1.4 Hz minskar accelerationen från ca 140 m/s^2 till ca 70 m/s^2 , dvs med 50%. Då accelerationen påverkar krafterna i lagren proportionellt innebär det att lagerkrafterna också minskar med 50%. Svänghjulet kan därmed göras mindre och effektbehovet minskar.



Figur 15. Testfrekvensens inverkan på maximal acceleration hos rälen.

5 Investeringskostnad

Investeringskostnaden för testriggen uppskattas till följande:

| Komponent | Kostnad | Anm |
|--------------------|--------------|---|
| Hydraulsystem | 1 600 000 kr | Cylindrar, pumpar, motorer och styrning. |
| Stålkonstruktioner | 900 000 kr | Svänghjul, vevstake, stativ, ramar och lagringar. |
| Fundament | 300 000 kr | Gjutning av fundament. |
| Drivsystem | 950 000 kr | Elmotorer, växellådor, kraftöverföring och styrning. |
| Mätutrustning | 1 500 000 kr | Instrumenterad axel samt mätutrustning enligt krav i kravspecifikationen avsnittet Mätteknik. |
| Konstruktion | 1 500 000 kr | Konstruktion, beräkning, simulering och projektledning. |
| Igångkörning | 300 000 kr | Montering och intrimning av testrigg. |
| Övrigt | 450 000 kr | |
| Summa | 7 500 000 kr | |

Kostnaden är ett grovt överslag, då alla ingående funktioner och komponenter ännu inte är helt kända.

6 Jämförelse med kravspecifikation

Nedan görs en jämförelse med hur väl konceptet uppfyller kravspecifikationen i dokumentet JVGI-C-05. I kolumnen K/Ö står K för Krav och Ö för Önskemål.

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Rörlig räl |
|-----------------|-----|--|--|
| 1-1 | K | Standardkomponenter ska nyttjas | Standardkomponenter används där det är möjligt. |
| Provningsobjekt | | | |
| 1.1-1 | K | Samtliga komponenter ska kunna bytas med rimlig arbetsinsats. | OK |
| Räls | | | |
| 1.1.1-1 | K | Räls - Ny och från fält, ex BV50 och UIC 60, längd min 8 meter, 1420-1450 mm spårvidd. | Olika typer av räl OK. Längd endast 2 meter. |
| 1.1.1-2 | Ö | Önskemål. Spårvidd 1000-1600 mm. | OK |
| 1.1.1-3 | Ö | Anlägga 1 par isolskarv, svetsskarv, öppen skarv. | OK |
| 1.1.1-4 | K | Slipbart på plats med maskin. | OK, med liten handhållen slipmaskin. |
| 1.1.1-5 | Ö | Prov av växeltunga. | OK. |
| Hjulpar | | | |
| 1.1.2-1 | K | Hjulpar - En axel, ny och från fält. | OK |
| 1.1.2-2 | K | Generell infästning inkluderande standard lagerbox och primärfjädring. | OK |
| 1.1.2-3 | K | Spårviddsönskemål, se räls. K1.1.1-1 | OK. Se 1.1.1-1 och 1.1.1-2 ovan. |
| 1.1.2-4 | K | Hjulaxeln demonteras för slipning alt svarvning. | OK |
| 1.1.2-5 | Ö | Prov av vågighet på räls vilket ger axiella krafter, lokalt uppvärmda hjul samt bromsning av hjul med olika bromssystem. | OK. Vågig räl kan ge upphov till slirning. Bromsar kan endast provas med lägre frekvens pga höga accelerationer vid vändningarna. Detta då hjulen ej kan lyftas vid bromsprov. |
| Underbyggnad | | | |
| 1.1.3-1 | Ö | Önskemål är varierande styvhet av bankroppen för att kunna ändra underbyggnadens styvhet och dämpning. Önskvärt att kunna placera frostskyddsisolering ovanpå. | Underbyggnad saknas. |

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Rörlig räl |
|---------------------|-----|--|---|
| Ballast | | | |
| 1.1.4-1 | K | Ballast - 30-50 cm djup, full slipersbredd. Hela räslängden. | Ballast saknas då rälen är rörlig. |
| 1.1.4-2 | K | Ska kunna vattenbegjutas samt förorenas och renas. | Ballast saknas då rälen är rörlig. |
| 1.1.4-3 | Ö | Ballasten ska kunna frysas. | Ballast saknas då rälen är rörlig. |
| Slipers | | | |
| 1.1.5-1 | K | Olika materialtyper och mått. Längder upp till 2,60 m. Placeras längs hela räslängden med avstånd c-c 40-80 cm | Slipers saknas då rälen är fixerad vid en rörlig ram. |
| Mellanlägg | | | |
| 1.1.6-1 | K | Räslutning 1:20 alt 1:30. Byte av material, typ och tjocklek. | OK, räslutning kan skapas, dock utan mellanlägg. Dessa saknas då rälen fästs vid en ram. |
| Befästningar | | | |
| 1.1.7-1 | K | Byte av material, typ och klämkraft. | Befästningar saknas då ramen fästs vid en ram. |
| Yttre laster | | | |
| 1.2.1-1 | K | Vertikalt maximalt 400 kN, indelat i laststeg. | OK |
| 1.2.1-2 | Ö | Axiellt (pga broms) önskvärt 150 kN maximalt. | OK, vid lägre frekvenser. Kräver hög motoreffekt, ca 1 MW vid kontinuerlig bromsning. |
| 1.2.1-3 | Ö | Lateralt önskvärt 250 kN maximalt. | OK |
| Inre krafter | | | |
| 1.2.2-1 | K | Hjulplattor, dynamiska tillskott antas kunna uppgå till 4 ggr den statiska lasten. | OK |
| 1.2.2-2 | K | Förspänning av räls i axialriktning motsvarande temperaturvariation -30 - +50 °C. | OK |
| Funktion | | | |
| 1.2.3-1 | K | Enkelriktad rörelse för ansatt last. | OK |
| 1.2.3-2 | Ö | Dubbelriktad rörelse för ansatt last, varierande hastighet vid ansatt last, snedlast. | Dubbelriktad last OK vid lägre frekvens, då hjulen ligger an mot rälen hela tiden. Varierande hastighet OK för olika testförlopp, ej under en cykel. Snedlast OK. |

| Krav | K/Ö | Kravspekifikation | Koncept - Rörlig räl |
|---------------------|-----|--|---|
| Geometri | | | |
| 1.2.4-1 | K | Styra axelposition vid ansättning, attackvinkel 0 +/- 20 milliradianer (+/- 30mm) med tolerans +/- 2,5 mm , önskvärt: +/- 25 milliradianer, sidoläge 0+/-50 mm med tolerans +/- 2,5 mm, primärfjädring tillåter axialrörelse men position för hornluggar läses inbördes. | OK |
| 1.2.4-2 | K | Last ansatt 1 meter. | OK, om acceleration upp till 40 m/s ² kan tillåtas, alternativt om frekvensen sänks. |
| 1.2.4-3 | Ö | Last ansatt 3 meter. | Önskemål ej uppfyllt då slaglängden är 1.5 meter. |
| Lastfrekvens | | | |
| 1.2.5-1 | K | Lastfrekvens på räls minst 2 Hz. Provlängd 15 miljoner cykler. | Maximal frekvens 1.4 Hz för rälen. 15 miljoner cykler uppnås efter ca 4 månader för rälen. Frekvens för hjulet ca 0.5 Hz. |
| 1.2.5-2 | Ö | Provlängd 20 miljoner cykler. | OK. 20 miljoner cykler uppnås efter ca 5½ månader för rälen. |
| Krav | K/Ö | Specifikation | Koncept - Rörlig räl |
| 1.2.5-3 | Ö | Hastighet 15 m/s vid ansatt last. | Maximal hastighet ca 7 m/s vid 1.4 Hz. |
| Traktion | | | |
| 1.2.6-1 | Ö | Traktion genom bromsning av hjul med olika bromsprinciper, t ex blockbroms och skivbroms. | OK, vid lägre frekvens. Stort effektbehov. Se 1.2.1-2. |
| Klimat | | | |
| 1.3-1 | Ö | Variation av klimatet med avseende på luftfuktighet rel fukt 20-80%, temperatur - 30 - +50 °C. | OK, med klimatanläggning. |
| Dynamik | | | |
| 1.4-1 | Ö | Dynamiska krafttillskott vid skador i hjul och räl (orsak och verkan av hjulplattor, shelling på räl). | OK |
| Mätteknik | | | |
| 1.5-1 | K | Möjlighet att testa ut olika övervakningsmetoder, hårdhetsmätning, profilmätning, spricktillväxt, rälsvandring, vågbildning, ytskador, rälsbrott, inkörningsförlopp, körsätt i fält. Friktion mellan räl/hjul mäts som funktion av glidning och hastighet mellan räl/hjul. | OK. Om detta ska ske kontinuerligt kan det vara ett problem, då rälen är i rörelse. |

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Rörlig räl |
|--------------------------------|-----|---|--|
| 1.5-2 | K | Automatisk övervakning och monitorering av banöverbyggnader såsom räl, rälskarvar, rälgeometri, befästningar, sliprar etc. är mycket viktiga för att i ett tidigt stadium detektera och uppfölja hur olika underhållsarbeten utfaller. Instrumenterad hjulaxel för bestämning av deformationer/krafter under drift. | Se 1.5-1. Instrumenterad hjulaxel OK. |
| 1.5-3 | Ö | Testning av ljudgenerering. | OK |
| Övrigt | | | |
| 1.6-1 | Ö | Standard smörjapparater skall kunna appliceras för simulering av räls smörjning. | OK, beroende på utformning av smörjapparater, samt att smörjmedlet ej rinner ner i lagringen för rälen. |
| 1.6-2 | Ö | Simulering av hjulklättring, möjlighet till placering utomhus eller i klimatrum. | Ej flyttbar. |
| 1.6-3 | Ö | Vattensmörjning skall kunna användas. | OK, under förutsättning att smörjmedlet ej rinner ner i lagringen för rälen. |
| Tillägg till kravspecifikation | | | |
| 2-1 | K | Maximala laterala krafter ca 200 kN. | OK |
| 2-2 | K | Maximala sidoförskjutnings-krafter ca 100 kN. | OK |
| 2-3 | K | Dynamiskt tillskott på vertikallast ca 2. | OK |
| 2-4 | K | Ren rullning ska åstadkommas med en friktionskraft som får vara maximalt 2% av normallasten. | OK, förutsatt att en teststräcka på ca 30 cm kan godtas, alternativt att testfrekvensen sänks till 1-1,2 Hz. |
| 2-5 | K | Provsträckan ska vara minst 45 cm vid konstanta förhållanden (last (kontaktryck), rullhastighet, traktionskraft). | OK. Accelerationen varierar mellan ca -20 till 20 m/s ² och hastigheten mellan ca 6.2 till 6.6 m/s vid en teststräcka på 45 cm. |
| 2-6 | K | Accelererat test av såväl hjul som räl ska kunna genomföras, likaväl som accelererat test av båda. | Testrigger ger ett accelererat test av rälen då lasten endast verkar på en del av hjulvarvet. Om frekvensen sänks kan teststräckan ökas. Den kan dock ej bli längre än slaglängden 1.5 meter, vilket innebär att accelererat test av hjulen ej kan utföras i rigger. |

7 Realicerbarhet

För att säkerställa testriggens funktion krävs omfattande analyser inom områdena dynamik, hållfasthet och utmattning. Det som sätter begränsningen för de rörliga delarna är accelerationen vid vändningarna i kombination med de rörliga delarnas massor. De rörliga delarnas massor ska därför minimeras. Noggranna analyser måste göras av lager och mekaniska delar för att bestämma utmattningshållfastheten och testriggens livslängd som helhet.

Realiserbarheten beror till stor del på om positioneringen av axeln kan ske med den exakthet som krävs för att inte hjulen ska glida i samband med nedsättning av hjulaxeln samt vid på- och avlastning av den vertikala lasten. Hydrauliken kan styras med den exakthet som krävs för att hjulen ska sättas ner på rälen utan att gidning uppstår. Men det kräver ideala förhållanden hos hjul och räl. Det medför att viss glidning kommer att förekomma pga vågighet och skador på räl och hjul samt pga deformationer i testriggen vid drift. Om inte nedsättningen av hjulaxeln och lastpåläggningen kan ske mjukt finns risk för inducering av stötvågor vilket inte får ske. Hydraulsystemet måste även enkelt kunna justeras för att anpassas till det slitage som uppkommer under testförloppet.

Svänghjulet ger en sinusformad hastighets- och accelerationsprofil till rälen. Det innebär att hastigheten och framförallt accelerationen kommer att variera under teststräckan. En risk är att dessa variationer, som ej förekommer vid normal tågtrafik, kommer att påverka testresultaten. Dessutom varierar svänghjulets rotationshastighet på grund av variationen i kraften från vevstaken. Även detta är en riskfaktor som måste utredas genom simulering och analyser innan dess inverkan kan bestämmas.

En begränsning med testriggen är att man ej kan testa inverkan av slipers, mellanlägg, befästningar och underbyggnad.

Genom att förse svänghjulet med infästningsmöjligheter för vevstaken på olika radier kan man variera vevradien och därigenom minska teststräckan och öka testfrekvensen för rälen.

Testrigg

Beskrivning av koncept

Styrd hjulaxel

Innehåll

| | |
|--|----|
| 1 Inledning..... | 2 |
| 2 Beskrivning av koncept - Styrd hjulaxel..... | 3 |
| 3 Konstruktion och komponenter | 4 |
| 3.1 Åkvagn | 4 |
| 3.2 Svängkranslager | 4 |
| 3.3 Räl med underbyggnad..... | 5 |
| 3.4 Drivsystem | 6 |
| 3.5 Fundament och stativ | 6 |
| 3.6 Hjulaxel med vagg..... | 7 |
| 4 Kinetik | 8 |
| 4.1 Translation..... | 8 |
| 4.2 Rotation | 8 |
| 5 Investeringskostnad | 9 |
| 6 Jämförelse med kravspecifikation | 10 |
| 7 Realicerbarhet..... | 14 |

| <u>Rev</u> | <u>Datum</u> | <u>Status</u> |
|------------|--------------|---|
| 1 | 980519 | Utkast |
| 2 | 980526 | Uppdatering av innehåll. |
| 3 | 980527 | Tillägg av Jämförelse med kravspecifikation och Realicerbarhet. |
| 4 | 980528 | Uppdatering av innehåll. |
| 5 | 980818 | Godkänd |

1 Inledning

Dokumentet beskriver konceptet styrd hjulaxel vad gäller konstruktion, komponenter, kinetik och kostnad.

Det valda konceptet är ett av konceptförslagen i dokument JVG1-C-06 "Funktionslösningar och konceptförslag", nämligen konceptförslag 7. Konceptet har valts då:

- liten inverkan av acceleration och jämn hastighet under testfasen.
- inverkan av slipers, befästningar, mellanlägg och ballast kan testas i riggen
- möjlighet att simulera underbyggnad

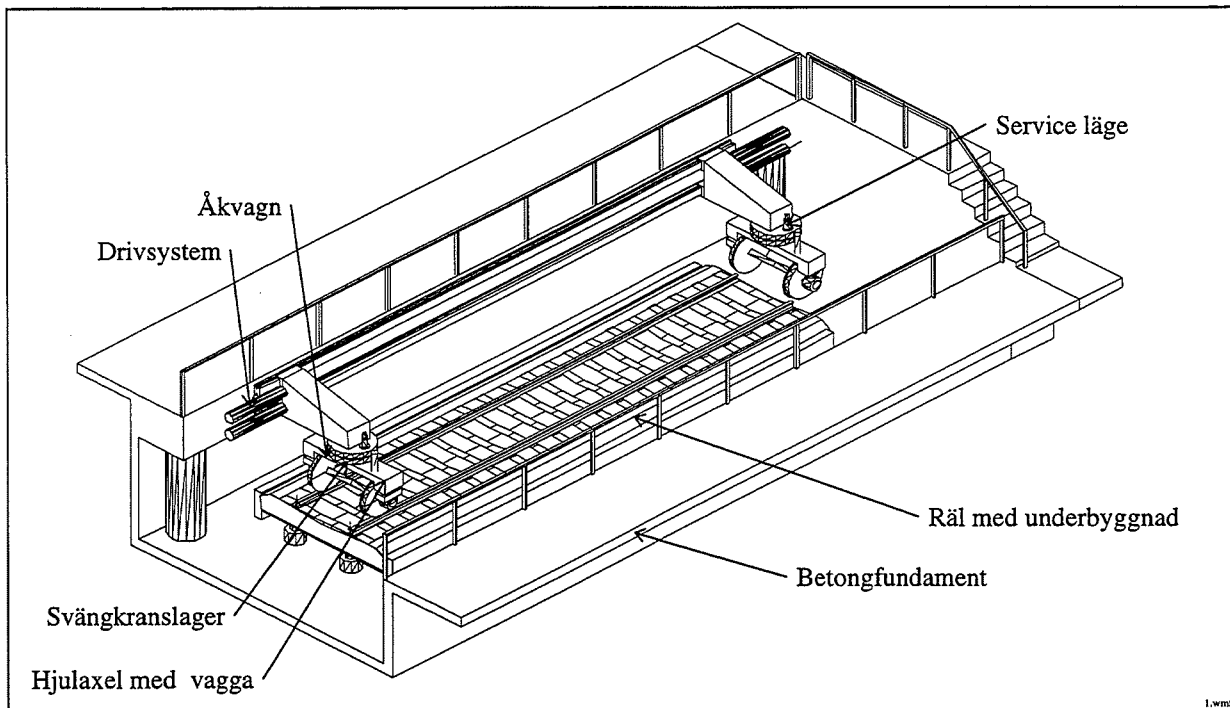
Konceptet har framarbetats av Knight Norrland.

2 Beskrivning av koncept - Styrd hjulaxel

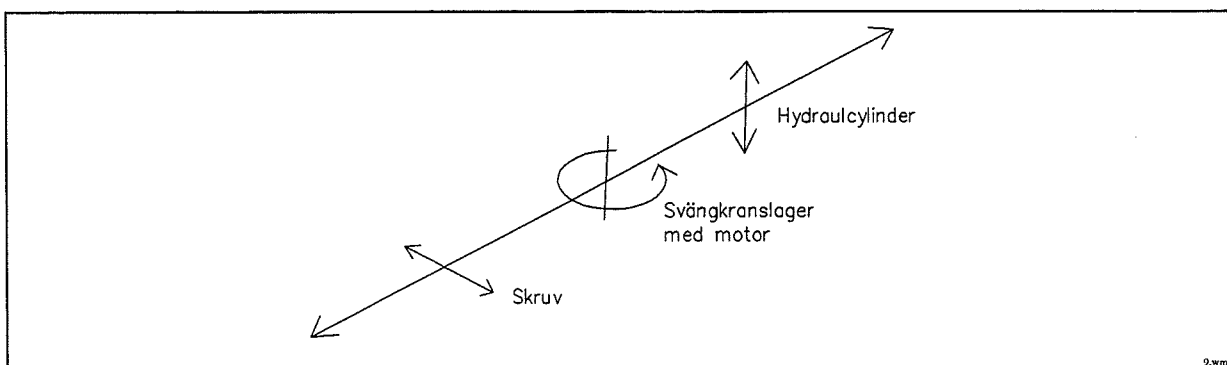
Konceptet bygger på antalet belastningsmeter/tidsenhet. För att generera åkrörelsen används en åkvagn som skickas iväg med en accelerationscylinder. Åkvagnens rörelse bromsas upp i ändläget med hydrauliska bromsar. Energin som tas upp i de hydrauliska bromsarna återförs till accelerationscylindrarna. Se Figur 1 och Figur 2.

Hjulaxeln sitter monterad i åkvagnen via en svängkranslagrad vagg. Vaggan är justerbar i höjd och sidled med hjälp av hydraulcylindrar som även genererar last i vertikal- och sidled under åkrörelsen. Vaggan roteras i ändläget för att kunna utnyttja åkrörelsen tillbaka till utgångsläget som en teststräcka. Därigenom undviks byte av rotationsriktning för hjulen. Eftersom båda åkriktningarna används som teststräcka åstadkoms enkelriktad last för hjulen.

Rälen med slipers och ballast placeras i en 12-15 meter lång underbyggnad.



Figur 1. Testrigg - Styrd hjulaxel.



Figur 2. Rörelseschema.

3 Konstruktion och komponenter

3.1 Åkvagn

Åkvagnen består av en kraftigt uppbyggd låda med fäste för svängkrans mot hjulaxeln och kraftiga rullagrade skenstyrningar mot fundament. Se figur 3. Skenstyrningarna dimensioneras för åkrörelsen och kravspecifikationens angivna krafter och toleranser.

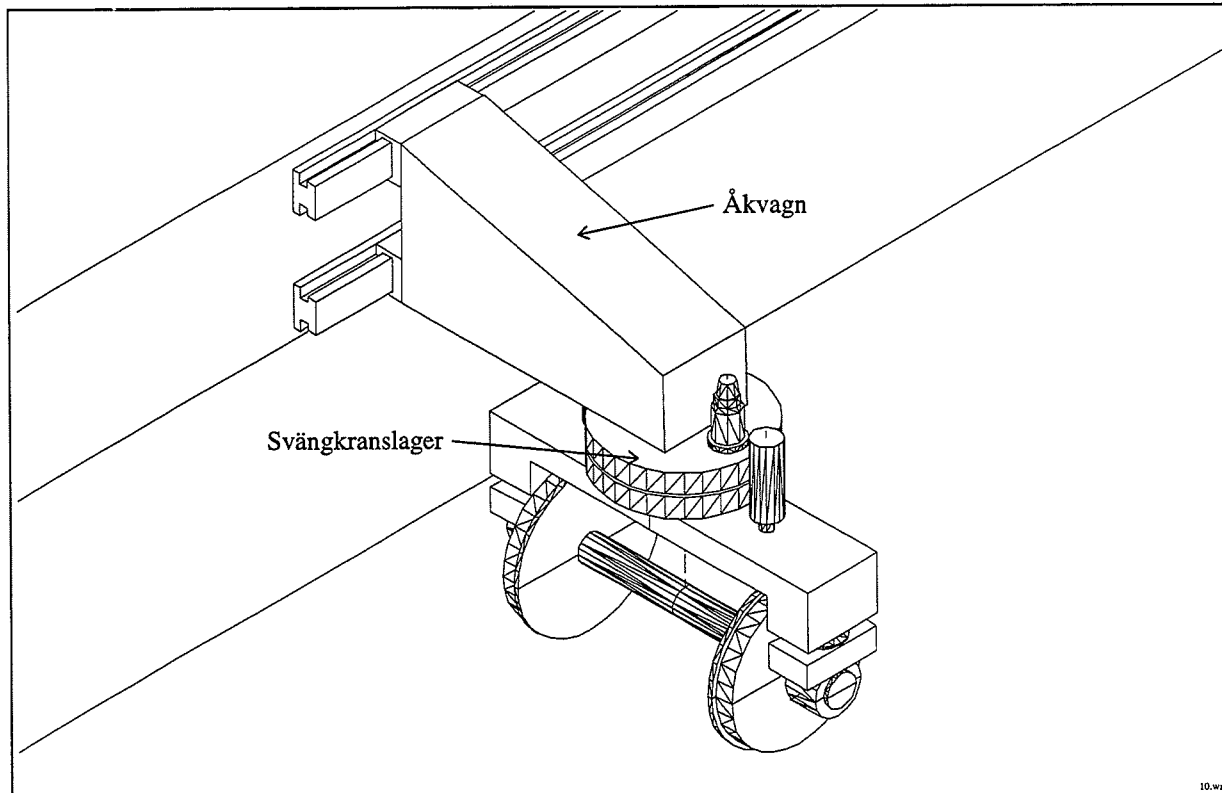
Åkvagnen är även försedd med en hjälpdrift (hydraulisk eller servomotor) med frihjulsfunktion, som via en kuggstång landar åkvagn mot ändläget. Hjälpdriften används även vid provning som medför inbromsning av hjulaxel och åkvagn.

3.2 Svängkranslager

Svängkranslagringen förenar hjulaxelns vagga med åkvagnens låda. Se Figur 3.

Den används vid vinkelförändringar av hjulaxeln vid provning av snedgång och den 180-gradiga vridningen i ändlägena som simulerar enkelriktad last på hjulaxel. Vridningen utförs med hjälp av en hydraulisk eller servomotorstyrd drift av svängkranslager.

Styrssystem utformas så att prov med dubbelriktad last kan utföras.

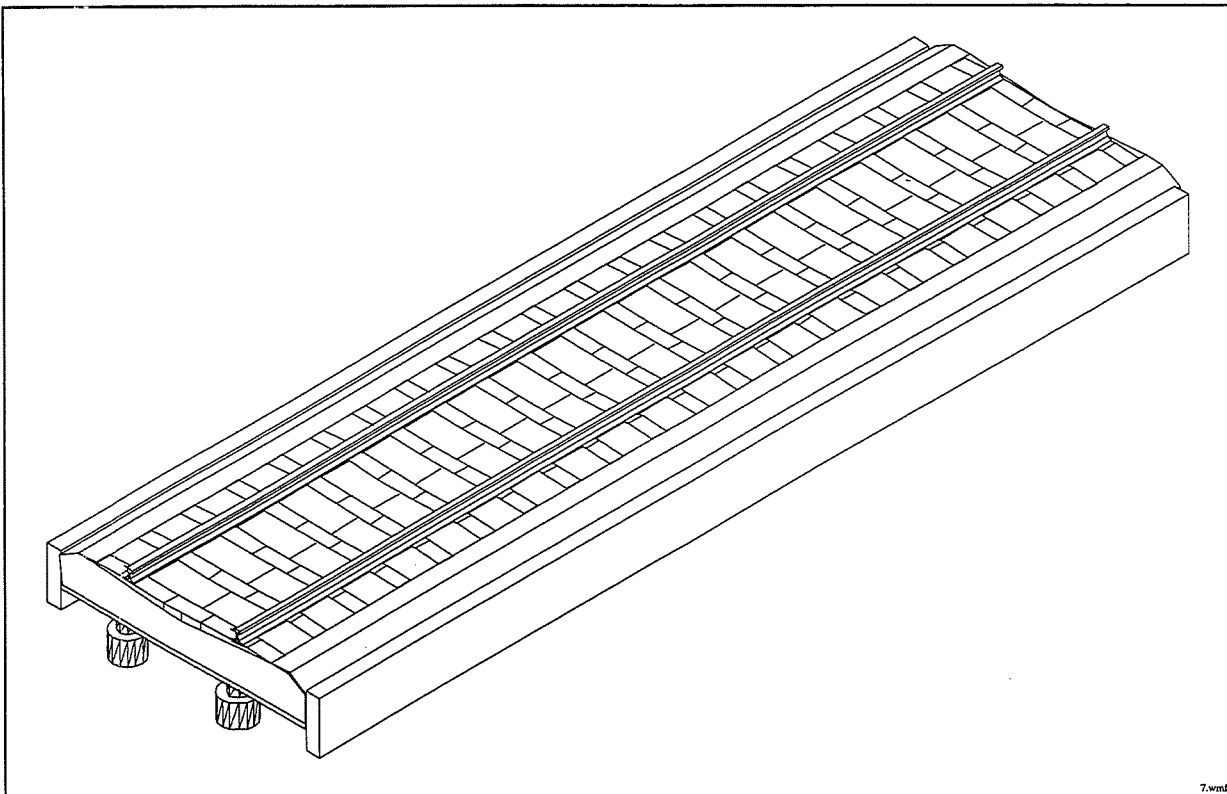


Figur 3. Åkvagn och svängkranslager.

3.3 Räl med underbyggnad

Rälen monteras på slipers och ballast i en rörlig underbyggnad. Se Figur 4. Räl och underbyggnad kan göras något kortare än provlängden då accelerations- respektive retardationsdelen inte behöver full räslängd (denna del blir även då serviceläge för vagnen). Krafterna från rälen förs via underbyggnaden vidare ner i fundamentet. På underbyggnaden finns anordningar för att förspänna rälen. Den önskade temperaturvariationen, -30 till $+50^{\circ}\text{C}$, ger att förspänningskraften blir drygt 600 kN. För att undvika deformationer i vertikalled bör förspänningskraften ligga i dess neutrallager.

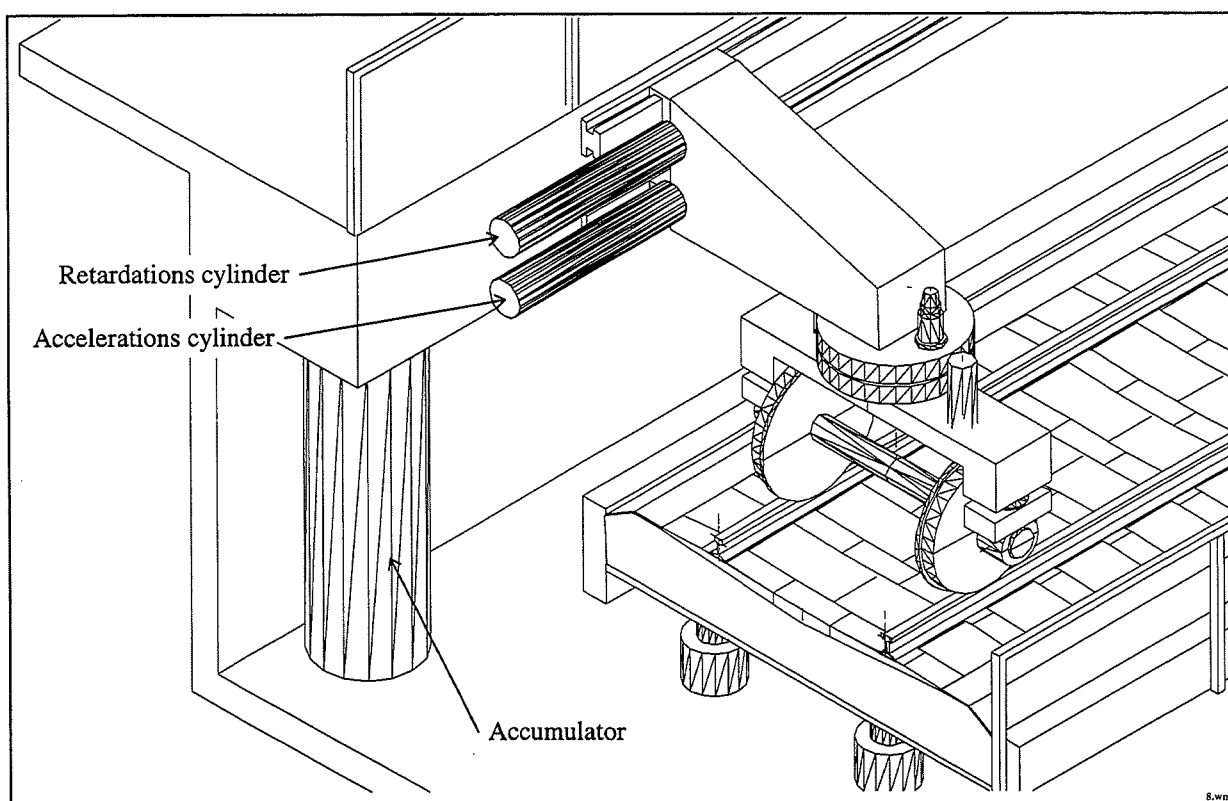
Underbyggnaden är uppdelat i ett antal sektioner som är rörliga i vertikalled med hjälp av skruvar eller hydraulcylindrar. Den rörliga underbyggnaden simulerar sättningar, varierande styvhet samt räslutning.



Figur 4. Räl med underbyggnad.

3.4 Drivsystem

För att driva åkrörelsen används två accelerations respektive två retardations cylindrar. Se Figur 5. Vid körning accelereras åkvagnen med hjälp av accelerationscylindern upp till en hastighet på ca 12-15 m/s. Efter accelerationsfasen är det vagnens egenenergi som driver vagnen framåt. Vertikal belastning kan påföras under hela teststräckan. I slutet av sträckan bromsas åkvagnen in med hjälp av retardationscylindern, varav så stor del som möjligt av inbromsningsenergin tas till vara via hydrauliska blåsaccumulatorer. Den tillvaratagna bromsenergin plus ett tillskott från det förlustkompenserande hydraulaggregatet förs via accumulatorerna till läge 2:s accelerationscylinder.

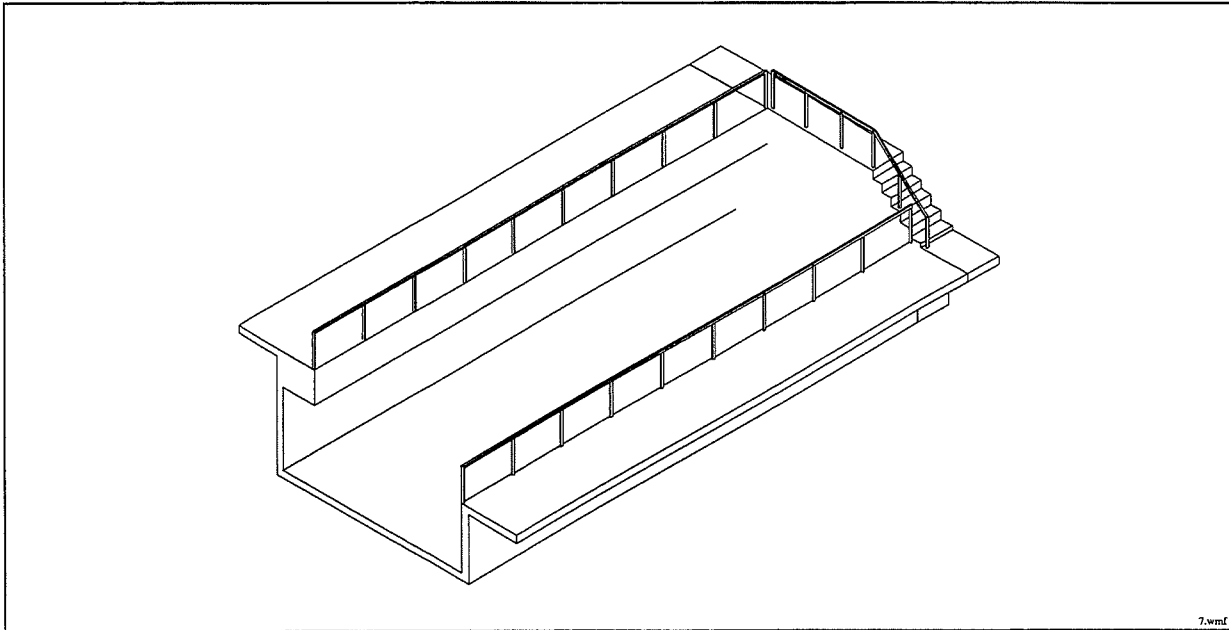


Figur 5. Drivsystem.

3.5 Fundament och stativ

Riggen placeras i ett betongfundament som dimensioneras för att ta upp de krafter och vibrationer som genereras av testriggen. Se Figur 6. Fundamentets dimension blir ca 8 meter brett respektive ca 13-16 meter långt.

Vid placering ovan golvnivå, görs stativet till åkvagnen lämpligast i stål, med en lodrätt hängande åksläde där löpbalken blir 12-15 meter lång och stödd av 3 portaler ca 6 meter breda.

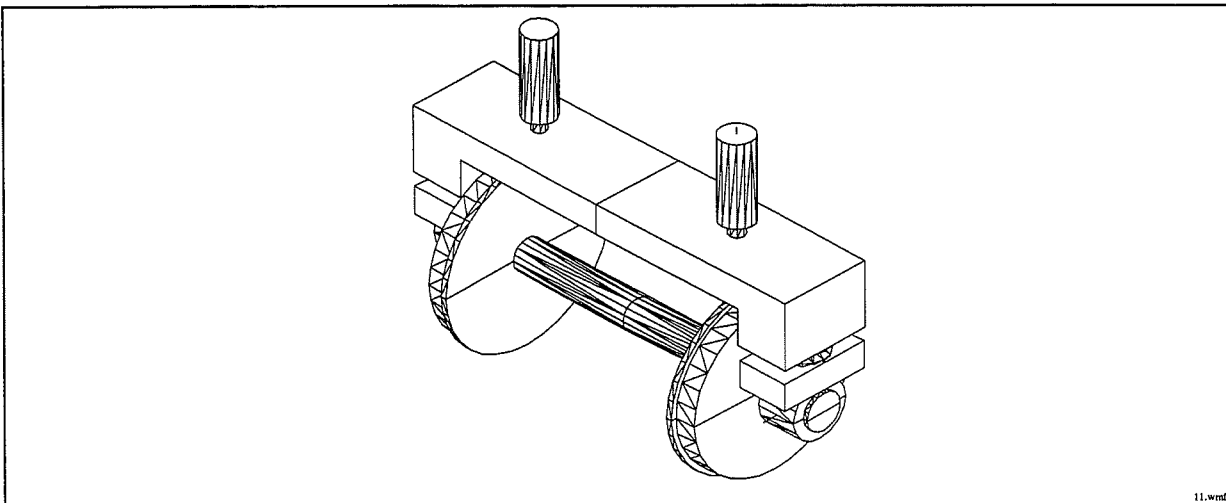


Figur 6. Fundament.

3.6 Hjulaxel med vagga

Hjulaxeln monteras i en vagga som efterliknar hornluggarna. Se Figur 7. I vertikal led behålls primärfjädringen, medan hornluggarnas läge i sidled sköts via en stegmotorstyrd rörelseskruv (alt. hydraulcylinder). Vid test av axlar med olika spårvidder kan hornluggens läge i vaggan förskjutas.

Lastpåläggning på hjulaxeln sker med proportionalstyrda och medåkande hydraulcylindrar för att få så mjuk övergång som möjligt mellan primärfjädringens ändläge och full lastpåläggning. Lastpåläggning kan även ske pulserande 30-50 Hz. Nersättning av hjulaxeln sker när åkvnagnens hastighet under accelerationsfasen överensstämmer med hjulens periferihastighet. Vaggan är även försedd med medåkande hjulmotorer som används vid provning där hjulens rotation förändras.



Figur 7. Hjulaxel med vagga.

4 Kinetik

4.1 Translation

Åkvagnen med svängkranslager och hjulaxel beräknas väga 2500-3000 kg. I tabellen nedan finns olika alternativ på hastighet (12 resp 15 m/s) och accelerationssträcka (1,5 resp 2 m).

Hydraulaggregatet är försedd med separata pumpar för varje ändlägescylinder, samt separata pumpar för rotation och övrig hydraulik. Total installerad elektrisk effekt 2 x (100-132) kW.

4.2 Rotation

Masströghetsmomentet för hjulaxel med vagga är ca 800-1000 kgm². Detta medför att tiden för rotation blir totalt 0,7 s vid ett vridmoment på 20000 Nm. Lyft och rotation påbörjas genast efter belastningsdelen och påverkar cykeltiden med ungefär 0,2-0,3 sek.

| | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Åkvagn med svängkranslager och hjulaxel (kg)</i> | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 | 2500 |
| <i>Hydrauloljetryck (bar)</i> | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| <i>Total längd med acc. ret. (m)</i> | 12 | 12 | 15 | 15 | 12 | 12 |
| <i>Acc. och ret. sträcka (m)</i> | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 |
| <i>Hastighet vid belastning (m/s)</i> | 15 | 15 | 15 | 15 | 12 | 12 |
| <i>Tid för vridning 180° (s)</i> | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| <i>Tid för lyft och sänkning (s)</i> | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| | | | | | | |
| <i>Acc. och ret. tid (s)</i> | 0,2 | 0,27 | 0,2 | 0,27 | 0,25 | 0,33 |
| <i>Acceleration (m/s²)</i> | 75 | 56 | 75 | 56 | 48 | 36 |
| <i>Cylinderkraft (N)</i> | 187500 | 140000 | 187500 | 140000 | 120000 | 90000 |
| | | | | | | |
| <i>Belastningsbar sträcka (m)</i> | 9 | 8 | 12 | 11 | 9 | 8 |
| <i>Belastningstid (s)</i> | 0,6 | 0,53 | 0,8 | 0,73 | 0,75 | 0,67 |
| <i>Cykeltid (acc. belastning ret. vridning) (s)</i> | 1,3 | 1,23 | 1,5 | 1,43 | 1,45 | 1,4 |
| <i>Belastningsmeter / sekund</i> | 6,9 | 6,5 | 8 | 7,7 | 6,2 | 5,7 |
| <i>Frekvens kontaktutm. hjulaxel (Hz.)</i> | 2,3 | 2,1 | 2,6 | 2,5 | 2,0 | 1,9 |
| <i>Frekvens kontaktutm. räl (Hz.)</i> | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |

5 Investeringstkostnad

Investeringstkostnaden för testtriggen uppskattas till följande:

| Komponent | Kostnad | Anm |
|--------------------|---------------|---|
| Hydraulsystem | 2 000 000 kr | Cylindrar, pumpar, motorer, ventiler |
| Stålkonstruktioner | 3 000 000 kr | Åkvagn, vagga, underbyggnad, stativ |
| Fundament | 500 000 kr | |
| Styrsystem | 1 300 000 kr | |
| Mätutrustning | 1 500 000 kr | Instrumenterad axel samt mätutrustning enligt krav i kravspecifikationen avsnittet Mätteknik. |
| Konstruktion | 2 200 000 kr | Konstruktion, beräkning, simulering och projektledning. |
| Igångkörning | 300 000 kr | Montering och intrimning av testtrigg. |
| Övrigt | 1 000 000 kr | |
| Summa | 11 800 000 kr | |

Kostnaden är ett grovt överslag, då alla ingående funktioner och komponenter ännu inte är helt kända.

6 Jämförelse med kravspecifikation

Nedan görs en jämförelse med hur väl konceptet uppfyller kravspecifikationen i dokumentet JVG1-C-05. I kolumnen K/Ö står K för Krav och Ö för Önskemål.

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Styrd hjulaxel |
|-----------------|-----|--|---|
| 1-1 | K | Standardkomponenter ska nyttjas | Standardkomponenter används där det är möjligt. |
| Provningsobjekt | | | |
| 1.1-1 | K | Samtliga komponenter ska kunna bytas med rimlig arbetsinsats. | OK |
| Räls | | | |
| 1.1.1-1 | K | Räls - Ny och från fält, ex BV50 och UIC 60, längd min 8 meter, 1420-1450 mm spårvidd. | OK |
| 1.1.1-2 | Ö | Önskemål. Spårvidd 1000-1600 mm. | OK |
| 1.1.1-3 | Ö | Anlägga 1 par isolskarv, svetskarv, öppen skarv. | OK |
| 1.1.1-4 | K | Slipbart på plats med maskin. | OK, vid sidoupphängd åkvagn. |
| 1.1.1-5 | Ö | Prov av växeltunga. | OK |
| Hjulpar | | | |
| 1.1.2-1 | K | Hjulpar - En axel, ny och från fält. | OK |
| 1.1.2-2 | K | Generell infästning inkluderande standard lagerbox och primärfjädring. | OK |
| 1.1.2-3 | K | Spårviddsönskemål, se räls. K1.1.1-1 | OK |
| 1.1.2-4 | K | Hjulaxeln demonteras för slipning alt svarvning. | OK |
| 1.1.2-5 | Ö | Prov av vågighet på räls vilket ger axiella krafter, lokalt uppvärmda hjul samt bromsning av hjul med olika bromssystem. | OK |
| Underbyggnad | | | |
| 1.1.3-1 | Ö | Önskemål är varierande styvhet av bankroppen för att kunna ändra underbyggnadens styvhet och dämpning. Önskvärt att kunna placera frostskyddsisolering ovanpå. | OK |
| Ballast | | | |
| 1.1.4-1 | K | Ballast - 30-50 cm djup, full slipersbredd. Hela räslängden. | OK |
| 1.1.4-2 | K | Ska kunna vattenbegjutas samt förorenas och renas. | OK, med sprinklers och cirkulationspump. |
| 1.1.4-3 | Ö | Ballasten ska kunna frysas. | OK, med frysslingor. |

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Styrd hjulaxel |
|---------------------|-----|--|---|
| Slipers | | | |
| 1.1.5-1 | K | Olika materialtyper och mått. Längder upp till 2,60 m. Placeras längs hela räslängden med avstånd c-c 40-80 cm | OK |
| Mellanlägg | | | |
| 1.1.6-1 | K | Räslutning 1:20 alt 1:30. Byte av material, typ och tjocklek. | OK, underbyggnad lutbar. |
| Befästningar | | | |
| 1.1.7-1 | K | Byte av material, typ och klämkraft. | OK |
| Yttre laster | | | |
| 1.2.1-1 | K | Vertikalt maximalt 400 kN, indelat i laststeg. | OK |
| 1.2.1-2 | Ö | Axiellt (pga broms) önskvärt 150 kN maximalt. | OK |
| 1.2.1-3 | Ö | Lateralt önskvärt 250 kN maximalt. | OK |
| Inre krafter | | | |
| 1.2.2-1 | K | Hjulplattor, dynamiska tillskott antas kunna uppgå till 4 ggr den statiska lasten. | OK |
| 1.2.2-2 | K | Förspänning av räls i axialriktning motsvarande temperaturvariation -30 - +50 °C. | OK |
| Funktion | | | |
| 1.2.3-1 | K | Enkelriktad rörelse för ansatt last. | OK för hjul. Dubbelriktad last för räls i normalfallet. |
| 1.2.3-2 | Ö | Dubbelriktad rörelse för ansatt last, varierande hastighet vid ansatt last, snedlast. | OK, dubbelriktad last vid lägre frekvens. |
| Geometri | | | |
| 1.2.4-1 | K | Styra axelposition vid ansättning, attackvinkel 0 +/- 20 milliradianer (+/- 30mm) med tolerans +/- 2,5 mm, önskvärt: +/- 25 milliradianer, sidoläge 0 +/- 50 mm med tolerans +/- 2,5 mm, primärfjädring tillåter axialrörelse men position för hornfluggar låses inbördes. | OK |
| 1.2.4-2 | K | Last ansatt 1 meter. | OK, last ansatt 9-11 m |
| 1.2.4-3 | Ö | Last ansatt 3 meter. | OK, last ansatt 9-11 m |

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Styrd hjulaxel |
|---------------------|-----|---|---|
| Lastfrekvens | | | |
| 1.2.5-1 | K | Lastfrekvens på räls minst 2 Hz. Provlängd 15 miljoner cykler. | Maximal frekvens ca 2 Hz för hjulet. 15 miljoner cykler uppnås efter knappt 3 månader för hjulet. Frekvens för rälen ca 0.7 Hz vid dubbelriktad last. |
| 1.2.5-2 | Ö | Provlängd 20 miljoner cykler. | OK. 20 miljoner cykler uppnås efter knappt 4 månader för hjulet. |
| 1.2.5-3 | Ö | Hastighet 15 m/s vid ansatt last. | OK |
| Traktion | | | |
| 1.2.6-1 | Ö | Traktion genom bromsning av hjul med olika bromsprinciper, t ex blockbroms och skivbroms. | OK |
| Klimat | | | |
| 1.3-1 | Ö | Variation av klimatet med avseende på luftfuktighet rel fukt 20-80%, temperatur -30 - +50 °C. | OK, med klimatanläggning. |
| Dynamik | | | |
| 1.4-1 | Ö | Dynamiska krafttillskott vid skador i hjul och räl (orsak och verkan av hjulplattor, shelling på räl). | OK |
| Mätteknik | | | |
| 1.5-1 | K | Möjlighet att testa ut olika övervakningsmetoder, hårdhetsmätning, profilmätning, spricktillväxt, rälsvandring, vågbildning, ytskador, rälsbrott, inkörningsförlopp, körsätt i fält. Friktion mellan räl/hjul mäts som funktion av glidning och hastighet mellan räl/hjul. | OK |
| 1.5-2 | K | Automatisk övervakning och monitorering av banöverbyggnader såsom räl, rälskarvar, rälgeometri, befästningar, sliprar etc. är mycket viktiga för att i ett tidigt stadium detektera och uppfölja hur olika underhållsarbeten utfaller. Instrumenterad hjulaxel för bestämning av deformationer/krafter under drift. | OK |
| 1.5-3 | Ö | Testning av ljudgenerering. | OK |
| Övrigt | | | |
| 1.6-1 | Ö | Standard smörjapparater skall kunna appliceras för simulering av räls smörjning. | OK, beroende på utformning av smörjapparater. |

| Krav | K/Ö | Kravspecifikation | Koncept - Styrd hjulaxel |
|--------------------------------|-----|--|---|
| 1.6-2 | Ö | Simulering av hjulklättring, möjlighet till placering utomhus eller i klimatrum. | Ej flyttbar. |
| 1.6-3 | Ö | Vattensmörjning skall kunna användas. | OK |
| Tillägg till kravspecifikation | | | |
| 2-1 | K | Maximala laterala krafter ca 200 kN. | OK |
| 2-2 | K | Maximala sidoförskjutnings-krafter ca 100 kN. | OK |
| 2-3 | K | Dynamiskt tillskott på vertikallast ca 2. | OK |
| 2-4 | K | Ren rullning ska åstadkommas med en friktionskraft som får vara maximalt 2% av normallasten. | OK |
| 2-5 | K | Provsträckan ska vara minst 45 cm vid konstanta förhållanden (last (kontakttryck), rullhastighet, traktionskraft). | OK |
| 2-6 | K | Accelererat test av såväl hjul som räl ska kunna genomföras, likaväl som accelererat test av båda. | Testtriggen ger ett accelererat test av hjulet. |

7 Realicerbarhet

Det som sätter begränsningen med detta koncept är först och främst höga flödes hastigheter och snabba förlopp i hydrauliken. En mer noggrann analys av koncept och komponenter krävs för att erhålla optimering med avseende på energiomsättning och minimering av energiförluster.

Även på den mekaniska delen av provriggen bör fördjupad analys av koncept och komponenter med avseende på hållfasthet och noggrannhet utföras. En lista med tänkta provningssekvenser bör upprättas, detta för att mer på detaljnivå kunna bestämma storleken på vissa ingående komponenter.

Problemet med slirning mellan hjul och räl går antagligen ej helt att undvika men med avkänning av både translations- och rotations hastighet och sättning av hjulaxeln först när dessa hastigheter sammanfaller bör problemet vara lösbart.

Realiserbarheten av konceptet är lättare att bestämma efter en fördjupad förstudie. Men till dags dato nerlagt arbete och inkomna uppgifter som grund, har inga orealistiska svårigheter upptäckts.