



Järnvägsgruppen

***Effektiva tågssystem för godstransporter***  
***Underlagsrapport***

# **Bromssystem**

Rune Bergstedt

**Järnvägsgruppen KTH**  
**Avd för järnvägsteknik**

Rapport 0508

# Förord

Denna rapport har utarbetats inom projektet ”Effektiva tågssystem för godstransporter” inom Järnvägsgruppen KTH. Den berör en del tekniska frågor som också berörs i nedan nämnda rapporter.

I rapporten Fördelad dragkraft beskrivs det som på engelska kallas Distributed Power (DP). Den berör teknik och funktioner som kan vara integrerade med ECP-bromsen.

Rapporten ”Intelligenta informationssystem för godstransporter på järnväg” behandlar bland annat ”intelligenta godståg”. De är baserade på ECP-bromssystemen men har en utökad förmåga för automatisering, styrning och övervakning i godståg. De stöder moderna metoder för effektivare godstrafik, som Train Sharing and Coupling (TSC).

Rapporten Automatkoppel berörs också. Ett modernt automatkoppel som automatiskt kopplar luft, el- och signalledningar och som kan fjärrstyras av föraren kan i kombination med ett ECP-bromssystem förbättra effektivitet vid tågbildningen.

Rapporterna grundar sig på litteraturstudier, främst underlag från konferenser, tidskriftsartiklar samt personlig kommunikation med personer verksamma inom industrin eller vid olika järnvägsförvaltningar. Under arbetets gång har jag belastat dessa personer med många frågor som de vänligt och utförligt besvarat. Det har varit till stor hjälp och jag vill rikta ett tack till dem alla. Ett särskilt tack vill jag framföra till dr. Dave van der Meulen, tidigare verksam vid Spoornet med bl. a. ECP-bromssystem, numera vid det egna företaget Railway Corporate Strategy cc, Sydafrika som förutom en omfattande brevväxlingen ställt sina artiklar och föredrag från olika konferenser till mitt förfogande.

Förhoppningen är att denna rapport skall väcka intresse för ny bromsteknik, främst ECP-bromsar, som kommit fram på senare år och som provats utomlands i tung systemtågstrafik med kol och malm. Där vill man i första hand få en bättre tågbröms. Vid vagnslasstrafik och intermodal trafik, där tågbildning och tågombildning ska ske snabbt och mycket mera frekvent än vid systemtågstrafik kan de möjligheter till automatisering som följer med de datorstyrda bromssystemen vara till särskilt stor nytta.

Stockholm 2004-09-08

Rune Bergstedt

# Sammanfattning

## Den konventionella tryckluftsbromsens nackdelar

Styrningen av bromsen sker genom tryckvariationer i huvud- (broms-) ledningen. De har låg utbredningshastighet. Vid bromsning nås tågets främre del först av signalen och börjar bromsa före bakre delar. Vid långa tåg leder det till stora tryckkrafter inom tåget. Tryckkrafterna kan leda till skador på fordonen och till att vagnar spårar ur.

Tryckkrafterna vid långa tåg kan begränsas genom lång ansättningstid för bromsen i förhållande till signalens utbredningstid. Det ger längre bromssträcka. Om försignalsavståndet inte räcker för den längre bromssträckan måste tågets hastighet sänkas.

Huvudledning används också för att luftförsörja bromssystemet. Man kan inte ladda bromssystemet samtidigt som man bromsar. När trycket höjs i ledningen lossas den europeiska bromsen gradvis i takt med att behållarna laddas. Det tar lång tid vilket är ett hinder för långa tåg. Den amerikanska bromsen lossar direkt då ledningstrycket höjs oavsett behållarnas tryck. Den tillåter långa tåg men risk finns för att bromsen utmattas.

## ECP- bromsar (Electronically Controlled Pneumatic brakes) i USA

Datorstyrda (ECP) bromsar har utvecklats i USA för att lösa problemen med tryckluftsbromsen. Styrningen av bromsen sker elektroniskt via kabel eller radio. Det ger snabb signal-utbredning och snabbt reglerbar broms med samtidig bromsning och lossning oavsett tåglängd, kort bromssträcka samt praktiskt taget inga längstryckkrafter inom tåget. Huvudledningen friställs från styrningen av bromsen och kan hela tiden ladda bromsen.

Datorsystemet stöder automatiserad tågbildning och övervakning under tågets gång. Det ger snabbare tågbildning, högre tåghastighet, snabbare omlopp, minskar behovet av personal, lok och vagnar samt ökar kapaciteten på banan.

Det datorstyrda bromssystemet utgör grunden för det intelligenta godståget. Dator- och kommunikationssystemet har stor överkapacitet som kan användas för andra styr- och övervakningsuppgifter inom tåget, t ex för fjärrstyrning av lok fördelade i tåget (DP).

Den kabelbaserade ECP-bromsen tycks ha slutgiltigt segrat över den konkurrerande radiobaserade ECP-bromsen. Utvecklingen av den radiobaserade ECP-bromsar har avbrutits och inget system är längre i drift och inget nytt har tagits i bruk sedan 1999.

Den kabelbaserade ECP-bromsen har använts sedan 1994 i försökstrafik. Nya kabelbaserade system tas i bruk för tillämpade försök av olika järnvägsbolag.

Det finns tre varianter av ECP-broms: Overlay, emulerande och stand alone. De två första kan användas både i ECP-bromsade tåg och i konventionella tåg med P-broms. De är avsedda att underlätta övergången till ECP-broms. Stand alone/all electric är en

renodlad ECP-broms som utgör den slutliga lösningen när man inte längre behöver vagnar och lok som kan fungera i konventionellt bromsade tåg. Den är enklare, lättare och billigare i inköp och underhåll än de två andra varianterna.

Spoornet i Sydafrika har beslutat att helt övergå till kabelbaserad ECP-broms av amerikansk typ för koltransporterna på linjen Ermelo-Richards Bay med bibanor. Det är den första järnväg i världen som helt övergår till ECP-bromsar. Det är ca 200 lok och 6700 vagnar som skall byggas om för direkt övergång från pneumatisk broms till stand alone ECP-broms genom ett speciellt övergångsförfarande.

Även i Australien och Kina finns intresse för att införa ECP-bromsar.

## Datorstyrda pneumatiska bromssystem i Europa

Det har funnits två projekt för datorstyrda tågbrömsar i Europa:

- EBAS i Tyskland
- FEBIS/EFIS ett tysk/franskt projekt (DB AG och SNCF i samarbete med ett konsortium bestående av ALSTOM och SAB WABCO)

EBAS utvecklades runt 1995 och var avsett för tåg med begränsad längd till ca 800m. Det har kommit till visst praktiskt utförande och användning, bl. a. på CargoSprinter.

FEBIS/EFIS utvecklades i slutet av 1990-talet fram till omkring 2001. Från början skulle FEBIS klara tåglängder på minst 1000 m och helst upp till 2250 m. FEBIS var dessutom betydligt mer avancerad och komplicerad än den amerikanska ECP-bromsen. Det visade sig så småningom att en mycket dyr verifiering av programvaran krävs för att datorstyrda pneumatiska bromssystem ska kunna användas i tåg med större längd än 750 m inom UIC. Det visade sig vara svårt att investera i en sådan utveckling på kommersiella grunder. Begränsas FEBIS till maximal tåglängd 750 m och sth 120 km/h kan en enklare och billigare verifiering vara tillräcklig. Med dessa begränsningar kan det vara affärsmässigt möjligt att driva en fortsatt utveckling.

DB AG och SNCF som startade FEBIS-projektet tycks ha tappat intresset för FEBIS. SAB WABCO försöker hitta ett annat sätt att finansiera projektet. Man försöker intressera italienska järnvägar för ett FEBIS-system för kortare tåg med en maximal längd av 750 m.

Därmed kan konstateras att det inte händer mycket på området ECP-bromsar i Europa. Troligen tog utvecklingen av FEBIS för komplicerade och dyra vägar – något som man varnade för vid ERRI konferens 1998 ”High Productivity Freight and ECP Brake”. Där framhölls att det var viktigt att utnyttja vad som redan utvecklats utomlands och ”inte uppfinna hjulet på nytt”. Man skulle bara anpassa systemet till europiska förhållanden.

## Fjärrstyrda utsläppsventiler i bromsledningen

Radio- eller kabelstyrda extra utsläppsventiler kan införas i första hand i bakre delen av huvudledningen. Det påskyndar luftutsläppet och bromsningen initieras samtidigt både fram- och bakifrån. Bromssträckan och tryckkrafterna inom tåget minskas. Metoden används i Nordamerika. Utsläppsventilen kan vara placerad i den ”End-of-train”-enhet (EOT) som finns längst bak i godståg i USA eller i ett lok som går i tågets bakre ända.

## Bromsblock med hastighetsoberoende friktion

Gjutjärnsblocken har en friktion som tilltar kraftigt vid låga hastigheter. Detta i kombination med att tågets främre del börjar bromsa först, medför stor urspårningsrisk vid kraftig bromsning i låga hastigheter, ca 8-15 km/h. Genom att införa fiberblock eller sintrade bromsblock med hastighetsoberoende friktion minskas denna risk. Inom heavy haul används bara sådana block. Fiberblocken sänker också ljudnivån, vilket kan bli nödvändigt i framtiden för godståg som nattetid skall trafikera tätbefolkade områden.

## Elektrisk bromsning av lokomotiv

Motstånds- liksom regenerativ broms med återmatning av elektrisk energi till kontaktledningen medför fördelar. Tågets bromsförmåga förbättras, den vanliga tågbronsen avlastas, slitage på och upphettningen av hjul och bromsblock minskas. Överhettade hjul kan leda till sprickor och risk för urspårning. Den elektriska bromsen är snabbt reglerbar och används därför för att reglera bromsningen i pneumatiskt bromsade tåg efter det momentana behovet. Det behövs särskilt vid tåg med AAR pneumatiska broms.

I tåg med snabbt reglerbar ECP-broms utnyttjas istället elbromsen för maximal bromsning för att minska slitaget och värmeutvecklingen i hjul och block.

Elektrisk bromsning används i moderna resandetåg. Vid förortståg, tunnelbanetåg osv. med korta avstånd mellan start och stopp kan energi sparas genom återvinning av rörelseenergin. I sådana tåg är ett stort antal axlar i tåget drivna, mellan 50 % och 100 % vilket möjliggör en kraftig elektrisk bromsning. I godståg är det relativa antalet drivna axlar litet men elektrisk bromsning är ändå gynnsam inte minst vid långvarig bromsning i stora lutningar. Energin kan återvinnas eller kylas bort från motstånden med fläktar.

Ett avgörande hinder för elektrisk lokbromsning kan vara bromskraftens fördelning i godståg. Bromsas bara med det eller de lok som går främst i tåget uppstår tryckkrafter i tåget med nackdelar och risker enligt ovan. Genom att fördela loken i tåget (DP) kan man lösa detta problem.

## Fördelad dragkraft (Distributed Power, DP)

Härmed menas att fjärrstyrda lok fördelas enskilt eller i sammanhållna grupper i tåget, t.ex. en grupp främst och en grupp mitt i eller sist i tåget. DP gör det möjligt att köra längre och tyngre tåg utan att dragkrafterna i tåget blir så stora att de förorsakar att koppel brister. Fjärrstyrningen av loken kan ske genom ett fristående radiosystem. Det finns numera också integrerad DP/ECP-broms där fjärrstyrningen av loken ingår som en integrerad del i den kabelbaserade amerikanska ECP-bromsen.

DP ger möjlighet till förbättrade bromsmetoder genom att:

- Extra fjärrstyrda utsläppsventiler kan placeras i lok fördelade i tåget
- Elbromsning av lok kan användas utan att stora tryckkrafter uppstår i tåget.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>10</b>
1.1	Allmänt	10
1.2	Några nya bromsmetoder	11
1.3	Tågbronsar, utveckling och historia	12
<b>2</b>	<b>Tryckluftbromsen – konstruktion och funktion</b>	<b>14</b>
2.1	Verkställande bromsanordningar för godståg	15
2.1.1	Blockbroms	15
2.1.1.1	Materialval och egenskaper	15
2.1.2	Skivbromsar	19
2.1.3	Utbromsning	21
2.2	Det europeiska (UIC) styrsystemet	21
2.2.1	Begreppen bromsläge respektive bromsgrupp	24
2.2.2	Bromsläge G, P och R	24
2.2.3	Bromsens reaktionstider vid olika bromslägen	25
2.2.4	Val av bromsgrupp för tåg	28
2.2.5	Svenska begränsningar i tåglängd med hänsyn till bromsgrupp	29
2.3	AAR pneumatiska godstågsbroms	30
2.3.1	Styrsystemet vid AAR P broms	31
2.3.1.1	Direktlossande broms	31
2.3.1.2	Ojämn bromsverkan vid AAR P-broms	32
2.3.2	Nackdelar med AAR P broms	32
2.3.3	Power Braking – ”gasa och bromsa samtidigt”	33
2.3.4	Bromsförfarande i långa lutningar med AAR P-broms	34
2.3.4.1	Dynamisk lokbroms – viktigt komplement	35
2.3.5	Nödbromsventil och styrventil	35
2.3.6	End Of Train- (EOT-) enhet	36
2.3.7	Varför kan långa godståg tillåtas i Nordamerika?	37
<b>3</b>	<b>Elektriska lokbromsar</b>	<b>39</b>
3.1	Elektrisk lokbromsning vid LKAB/MTAB	39

---

3.2	Metoder för elektrisk lokbromsning	39
3.3	Helt elektrisk bromsning	40
<b>4</b>	<b>Inventering av tänkbara bromssystem</b>	<b>42</b>
4.1	Brake-by-wire med el-mekanisk broms	42
4.2	Bromsignal via ljudvågor (Sonar Pulses)	44
4.3	Pneumatisk broms med extra matarledning	44
4.4	Elektro-pneumatisk (EP) broms	44
4.5	Utsläppsventiler i huvudledningen	46
4.5.1	Extra utsläppsventil i EOT-enheten	46
4.5.2	Extra utsläppsventil på fjärrstyrt lok	47
4.6	Elektromekaniskt (EM) bromssystem	48
4.7	EPH, EH och fjäderbromsar	50
4.8	Datorstyrd P broms med automatiska funktioner	50
<b>5</b>	<b>Amerikanska ECP-bromsar</b>	<b>52</b>
5.1	Bakgrund och historik	52
5.2	Normer och specifikationer för AAR ECP broms	53
5.3	Risk- och felanalys	54
5.4	ECP-bromsens uppbyggnad	54
5.4.1	Kommunikation via kabel eller radio	54
5.4.2	Tre varianter av styrsystem	55
5.4.2.1	Overlay ECP-broms	55
5.4.2.2	Emulerande ECP-broms	55
5.4.2.3	Stand alone ECP-broms	56
5.4.3	Datorarkitektur för ECP-bromsar	57
5.5	Kabelbaserad ECP-broms	58
5.5.1	Komponenter och uppbyggnad	58
5.5.2	Signalsystemet	62
5.5.3	Funktioner och manövrering	62
5.5.3.1	Setup	62
5.5.3.2	Operationsmoder	63
5.5.3.3	Initialization	63
5.5.3.4	Sequencing	64
5.5.3.5	RUN (Köra tåg vid tågrörelse)	64
5.5.3.6	SWITCH Mode (Växling)	64

---

5.5.3.7	CUT OUT Mode (stänga av hela systemet)	64
5.5.3.8	CCD Cut out/Cut in	64
5.5.3.9	CCD eller EOT i Shutdown Mode	65
5.5.4	Övervakning av och åtgärder vid fel på ECP-systemet	65
5.5.4.1	ECP-systemets hantering av fel	65
5.5.4.2	Övervakning av verkställande bromsanordningar	66
5.5.4.3	Fjärrmanövrerad parkeringsbroms	66
5.5.5	Laddning av förrådsluftbehållare	66
5.5.6	Styrning av ECP-bromsen	67
5.5.6.1	Styrorder på datanätet	67
5.5.6.2	Utbromsning (Net Brake Ratio, NBR)	67
5.5.6.3	Beräkning av bromscylindertryck	67
5.5.6.4	Bromskraftens anpassning till lastvikten	68
5.5.6.5	ECP-bromsens reaktionstider	68
5.5.6.6	Signalutbredningstid och accesstid till nätet.	69
5.5.7	Elsäkerheten för Train Line kabeln	69
5.5.8	Fjärrstyrning av lok via ECP-system	69
5.5.8.1	Bromsning av lok	70
5.5.9	Train Line kabel med komponenter	70
5.5.10	Är Train Line kabeln den svaga länken?	73
5.6	Radiobaserad ECP-broms	74
5.6.1	Radiokommunikationen	75
5.6.2	Väckning och länkning via bromsledningen	77
5.6.3	Elkraftförsörjning vid emulerande ECP	78
5.6.3.1	Elkraftgenerering ombord på vagnarna	78
5.6.3.2	Tryckluftdriven elgenerator	78
5.6.4	Kompakt ECP-modul ger smidig installation	80
5.7	Kabel eller radiobaserad ECP-broms?	81
5.7.1	Tiden är inne för att välja system	81
5.7.2	För- och nackdelar hos de två alternativen	82
5.7.3	Funktionsmöjligheter vid broms- eller signalfel	83
5.7.4	Det aktuella marknadsläget för ECP-bromsar	84
5.8	Försök med AAR ECP-bromsar	85
5.8.1	TTCI provtåg (FAST train)	85
5.8.2	Försök vid BNSF	85
5.8.3	Försök vid Union Pacific	86
5.8.4	Försök vid Amtrak	86



5.8.5	Försök vid NS och CPR	86
5.8.6	Försök vid Southern Co	86
5.8.7	Försök vid CSX Transportation	87
5.8.8	Försök vid QCM	87
5.8.9	Försök vid Western Fuels Association	87
5.8.10	Försök vid Spoornet i Sydafrika	88
5.8.11	Försök vid DM&IR	89
5.8.12	Queensland Rail, Australien	89
5.8.13	FEC	89
5.8.14	Försök vid BHP Iron Ore Railroad, Australien	90
5.9	Försöksresultat med ECP-bromsar	90
5.9.1	Stand Alone ECP-broms vid QCM.	90
5.9.2	Radiobaserad ECP-broms vid BHP Iron Ore Railroad i Australien	91
5.9.3	ECP-bromsar med integrerad WDP på COALlink i Sydafrika	92
5.10	Omställningen till ECP/DP-system	96
5.10.1	Allmänna idéer om omställningsförfarandet	96
5.10.2	Omställning till DP/ECP-broms i två steg	97
5.10.3	Spoornets omställning till ECP-broms	97
<b>6</b>	<b>Datorstyrda bromssystem för godståg i Europa</b>	<b>99</b>
6.1	Datorteknik ger effektivare godståg	99
6.2	EBAS	100
6.3	Projektet FEBIS/EFIS	104
6.3.1	Bakgrund	104
6.3.2	Begränsad tåglängd med FEBIS, maximalt 750 m	104
6.3.3	FEBIS-systemets arkitektur	105
6.3.4	FEBIS-system på godsvagnar	107
6.3.5	FEBIS-systemet på lokomotiv	109
6.3.6	Initialisering av bromsapplikationen	110
6.3.7	Förarens styrning av FEBIS-bromsen	111
6.3.8	FEBIS reaktioner om fel uppstår	111
6.4	ECP-bromsar vid MTAB malmtrafik?	112
Bilaga 1	De tidiga bromssystemen	119
Bilaga 2	Den amerikansk tryckluftbromsen	121
Bilaga 3	Litteratur och referenser	131

# 1 Inledning

## 1.1 Allmänt

Den konventionella *pneumatiska (P) bromsen* eller som den vanligen kallas *tryckluftbromsen* har många goda egenskaper och har fungerat väl genom åren. Utvecklingen går mot snabbare, tyngre och längre tåg samt mot ökad automatisering. P-bromsen har vissa principiella begränsningar som hindrar dess vidare utveckling. Det gäller styrningen av bromsen, luftförsörjning av bromssystemet samt möjligheten att införa automatiska funktioner.

Tryckluftbromsarna är sedan länge av olika utföranden i Europa och i USA. Det europeiska bromssystemets utförande regleras genom UIC<sup>1</sup> normer och bestämmelser. Eftersom denna broms kan lossas gradvis benämns den på engelska *gradually release brake*. Inom vissa gränser kan den europiska bromsen anpassas till olika tåglängder, tågvikter och till största tillåtna tåghastighet (sth) genom att bromsens reaktionstider och i vissa fall bromsverkan (cylindertrycket) kan väljas genom bromslägen (G, P och R) på lok och vagnar. Den är lämpad för snabba, korta och lätta resande- och godståg och korta signalavstånd men inte för långa och tunga tåg.

Den amerikanska godstågsbromsens utförande regleras genom AAR<sup>2</sup> normer och den är av en direktlossande typ, på engelska kallad *direct release brake*. Det innebär att den bara kan lossas helt och inte gradvis. Den har lägre bromsverkan samt betydligt längre reaktionstider och är anpassad för långa och tunga godståg på banor med långa försignalavstånd.

Utvecklingen i USA mot allt större bruttovikter på godsvagnarna, längre och tyngre tåg samt högre tåghastigheter gjorde att man för ca 10 år sedan ville ytterligare utveckla den amerikanska bromsen. Den pneumatiska bromsen har bara en mycket begränsad utvecklingspotential. Detta beror på att bromsen styrs via tryckvariationer som via en förarventil på loket leds in i och fortplantas genom luften i huvudledningen, d v s den bromsledning som utgörs av rörledningar genom vagnarna och slangar med kopplingar mellan vagnarna. Utbredningshastigheten för dessa styrsignaler är i moderna konstruktioner i storleksordning 250 till 280 m/s. Den begränsas av ljudhastigheten i luft och framför allt av strömningsförluster i ledningar, kopplingar, ventiler etc. Det finns därför inte någon potential för nämnvärda förbättringar.

---

<sup>1</sup> Union Internationale des Chemins de fer (Internationella järnvägsunionen)

<sup>2</sup> Association of American Railroads

I långa tåg medför bromssignalens låga utbredningshastigheten att tågets främre del först nås av styrsignalen och påbörjar bromsningen medan bakre delar som ännu inte nåts av styrsignalen och påbörjat bromsningen trycker på bakifrån. Det kan leda till stora längstryckkrafter och längsryck i tåget som kan förorsaka skador på fordon och gods samt att vagnar spårar ur.

För att motverka detta använder man lång tillsättningsstid för bromsen i förhållande till signallöptiden längs tåget samt låg bromsverkan. Det gäller i särskilt hög grad i Nordamerika där godstågen ofta är mycket långa och tunga. Nackdelen är att det medför långa bromssträckor och krav på lägre hastighet för att tåget skall kunna stanna inom det gällande försignalavståndet eller krav på längre försignalavstånd.

Huvudledningen används inte bara för att leda bromssignalen (tryckvariationerna) utan också för luftförsörjningen av bromssystemet. Eftersom bromsning styrs genom trycksänkning i ledningen, måste trycksänkningen kvarstå så länge bromsningen pågår. Ledningen kan därför inte användas för att mata luft för att ladda förrådslufbehållarna så länge bromsning pågår.

Detta är särskilt stort problem vid den amerikanska bromsen eftersom den är av typ direct release och därmed släpper omgående och helt då trycket i ledningen höjs. Därmed töms bromscylinder helt på sin luft. Den behöver fyllas med ny luft av önskat tryck vid en ny bromsning. Luftförbrukningen blir därför stor vid omväxlande lossning och bromsning. Om behållarna inte hinner laddas upp leder det till att bromsen utmattas vid upprepade bromsning och lossning med kort tidsmellanrum. Då avtar bromsförmågan och blir till sist mycket låg med risk för att amerikanska godståg kan "skena" utan eller i varje fall med nedsatt bromsförmåga.

Den europeiska bromsen lossar i takt med att ledningstrycket och behållarnas tryck stiger. Det eliminerar risken för utmattning men medför att det tar lång tid att lossa bromsarna i ett långt godståg.

## 1.2 Några nya bromsmetoder

För att komma ifrån dessa nackdelarna började man i USA utveckla s.k. *ECP-bromsar* (*Electronically Controlled Pneumatic Brakes*) i början av 1990-talet. ECP-bromsen består i huvudsak av den konventionella pneumatiska bromsen kompletterad med en elektronisk styrning som tillägg. Vissa varianter har kvar förmågan att på konventionellt sätt styras via trycket i bromsledningen. Vagnar utrustade med sådana ECP-bromsar kan därför fungera både i tåg med elektroniskt styrd broms och i tåg med konventionell P-broms.

Till ECP-bromssystemet hör ett självkonfigurerande distribuerat datorsystem med datorer i lok och vagnar samt kommunikationskanal antingen i form av seriell kommunikation via en enkel kabel med två ledare eller trådlöst via radio. Datorsystemet är avsett både för att styra bromsen och för automatisk övervakning och automatiska funktioner för att samla in och bearbeta uppgifter om tåget samt för bromsprovning.

Användningen av ECP-bromssystem har hittills begränsats till praktiska försök i kommersiell heavy haul trafik med systemtåg för malm- och koltransporter i USA, Kanada, Sydafrika och Australien där tåg och bromsar är av amerikansk (AAR) typ.

I Europa är förhållandena annorlunda. Här begränsas tåglängden till ca 500 m i de flesta fall då man vill köra tåg med hastigheten 100 km/h. Längre tåg, t ex upp till 1000 m, kan bara köras med lägre hastighet och med begränsningar beträffande bromsläge och tågsammansättning.

Strävan efter att kunna köra längre godståg i Europa samt önskan att automatisera och rationalisera tåg bildningen och bromsprovningen har lett till projekt för att utveckla datorstyrda bromssystem liknande den amerikanska ECP-bromsen men anpassade till europeiska behov och förhållanden.

Det finns en enklare metod för att delvis avhjälpa problemen med den pneumatiska bromssignalens låg hastighet. Det är att införa åtminstone en elektrisk utsläppsventil i bromsledningens bakre del. Den kan fjärrstyras via radio eller kabel från det främsta loket. Svårigheten är att utföra ett sådant system så att det är säkerhetsrelevant, dvs. att det har sådan funktionssäkerhet att de förbättrade bromsprestanda kan användas för att höja hastigheten för godstågen eller för att kunna köra längre godståg med högre eller åtminstone med hittillsvarande hastighet.

Genom att använda fördelad dragkraft (*Distributed Power, DP*) i form av ytterligare ett eller flera fjärrstyrda lok fördelade längs tåget, kan dragkrafterna i koppel inom tåget minskas när loken drar, vilket annars utgör en begränsande faktor för långa och tunga tåg. Men de fjärrstyrda loken kan också förbättra bromsfunktionen i långa tåg på följande sätt:

- De extra radio- eller kabelstyrda utsläppsventilerna kan placeras på de fjärrstyrda loken
- Dynamisk bromsning på de fjärrstyrda loken kan användas
- Luftförsörjning och bromsens lossning kan förbättras genom flera spridda inmatningsställen för luft längs huvudledningen. Detta är också en säkerhetskritisk funktion, inget lok får mata luft pga. någon felfunktion när tåget skall bromsas

Den dynamiska bromsen avlastar tåg bromsen och minskar slitaget på och värmealstringen i hjul och bromsblock. Den dynamiska bromsen är snabbt reglerbar och vid DP blir bromskrafterna fördelade i tåget. Båda dessa faktorer bidrar till att minska längskrafterna i tåget och till kortare bromssträckor.

## 1.3 Tåg bromsar, utveckling och historia

Bilaga 1 beskriver tåg bromsarnas tidiga utveckling och historia.

Bristen på standardisering och samordning inom och mellan länderna i Europa fick till följd att en del järnvägar använde vakuumbromsar och andra tryckluftbromsar. De båda systemen var inte kompatibla vilket gjorde att man måste utrusta personvagnar och resgodsvagnar för genomgående trafik med dubbla system. Exempelvis bromsades gångna tiders Orientexpress på sin resa från Paris till Bosporen två gånger med tryckluft och två gånger med vakuum.

I Sverige hade många enskilda järnvägar vakuumbroms andra hade tryckluftbroms. SJ hade i vakuumbroms utom på malmbanan Luleå – Kiruna–Narvik. Under åren 1920-40 skedde en stor omställning i Sverige. Då övergick SJ (riksdagsbeslut år 1919, som genomfördes under 1920 -1927) och den del av Sveriges enskilda järnvägar som hade samtrafik med andra banor från vakuumbroms till tryckluftbroms.

Det var ett systemskifte som kan vara av intresse att beakta nu när det finns tvekan inför de omställningsproblem en övergång till datorstyrda pneumatiska bromsar (ECP-bromsar) skulle föra med sig. Vid en framtida omställning till ECP-bromsade godståg kan omställningen i hög grad förenklas. Genom att under övergångsperioden välja en lämplig variant av ECP-broms kan till ECP-broms ombyggda vagnar användas såväl i tåg med konventionell broms som i tåg med ECP-broms.

## 2 Tryckluftbromsen – konstruktion och funktion

Bromssystemet består dels av *verkställande bromsanordningar* ute i fordonen, dels av ett *styrssystem* som reglerar bromsen i varje fordon.

Allmänt gäller att de verkställande anordningarna måste dimensioneras så att temperaturen i de värmeenergiupptagande delarna inte blir för hög. Detta gäller i synnerhet när värmeenergin skall tas upp i hjulen. Alltför hög temperatur kan leda till strukturförändringar och sänkt hållfasthet i materialet. Upphettningen är ofta ojämn, vilket leder till termiska spänningar med risk för flytning och kvarstående spänningar. Risken för sprickbildning ökar vid hård termisk belastning som ger snabb temperaturstegring..

Vid den nordamerikanska typen av broms finns en påtaglig risk för ojämn bromsverkan mellan vagnarna i tåget. Det leder till att vissa hjulpar får högre termisk belastning än genomsnittet, andra hjulpar får lägre. Problemet blir större med den pågående utvecklingen mot allt högre hastigheter och större bruttovikter på vagnar och tåg vilket leder till att högre effekt utvecklas vid bromsning dvs. stor bromsenergi tillförs på kort tid. I länder med stora höjdskillnader och banor med tunga tåg och långa och stora lutningar utvecklas stor bromsenergi under lång tid vilket leder till hjulen med tiden blir mycket varma och vissa hjul med kraftigare bromsverkan kan överhettas.

Tryckluften används både för att överföra styrsignalen och för att ge kraft till bromssystemet. I vissa moderna europeiska resandetåg kan tryckluftbromsen vara kompletterad med en elektrisk styrning, *UIC elektropneumatiska (EP) broms*, för att ge snabb och samtidig tillsättning och lossning av bromsen längs hela tåget utan ryck och svängningar. Den har ytterligare en luftledning (matarledning eller högtrycksledning) för luftförsörjningen av bromsar, dörrstängning och andra funktioner. Det förbättrar bromsen ytterligare.

Under de senaste åren har elektroniskt styrda och övervakade pneumatiska (ECP-) bromsar börjat införas på tunga systemtåg i avgränsad godstrafik i Nordamerika, Sydafrika och Australien. I Europa finns liknande utvecklingsprojekt för att med datorer elektroniskt styra tryckluftbromsen på godståg.

## 2.1 Verkställande bromsanordningar för godståg

Den verkställande bromsanordningen kan utgöras av blockbroms eller skivbroms eller båda i kombination. Trumbromsar har provats utan framgång.

### 2.1.1 Blockbroms

Blockbromsen består ytterst av ett eller flera *bromsblock* som trycker mot hjulets löpbana och bromsar hjulet. Bromsblocken trycks mot hjulen av en länkmekanism, *bromsrörelsen*, som får kraften från kolven i en bromscylinder.

Bromssystemet kan vara uppbyggt med en för vagnen gemensam bromscylinder belägen i vagnsramen. Detta är vanligt på 2-axliga vagnar och även på en del boggivagnar. Flera cylindrar på vagnen kan förekomma, t ex en i varje boggi, varvid man kan förkorta och förenkla bromsrörelsen som därmed blir exaktare med mindre glapp och fjädring.

Blockbroms används både i Nordamerika (AAR) och i Europa (UIC) och såväl för godstrafik som för persontrafik. Enligt UIC norm 543 dock högst till 160 km/h om den utgör det enda bromssystemet på vagnen. Som kompletterande bromssystem får blockbroms användas till 200 km/h. Den är förhållandevis enkel, billig och lätt och kräver inga speciella bromsskivor. Blockbromsen är lättåtkomlig och det är relativt enkelt att byta block. Bortsett från t ex vissa speciella vagnar som MTAB malmvagnar används inom UIC sedan länge bromsar med block som ansätts mot respektive hjul från två diametralt motsatta riktningar (clasp brakes). Inom AAR utnyttjas lägre bromskrafter och amerikanska godsvagnar har vanligen bromsar där bromsblock ansätts mot hjulets ena sida.

#### 2.1.1.1 Materialval och egenskaper

Inom AAR används fiberblock eller sintrade block. Båda har en friktionskoefficient som är praktiskt taget oberoende av hastigheten (se figur 1).

Fiberblocken består av olika typer av organiskt material som pressats samman under högt tryck och hög temperatur. Fiberblocken är lätta och har goda slitageegenskaper men dålig värmeledningsförmåga och begränsad uppruggande effekt på hjulet.

Sintermaterial består av järn-, grafit- och mineralpulver som blandas under uppvärmning till 900-1000 °C och pressas samman under högt tryck. Sinterblocken har goda slitageegenskaper men är dyra.

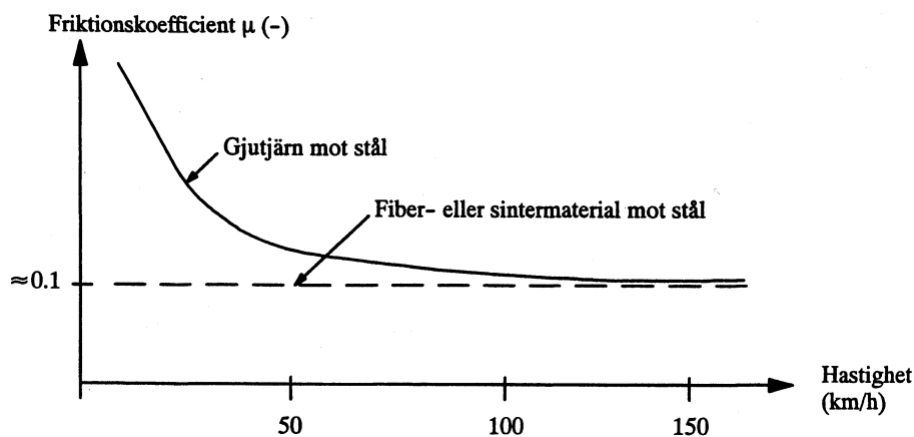
Inom UIC har hittills använts gjutjärnsblock som är lätta att tillverka och billiga i inköp. De har nackdelen att friktionskoefficienten mellan gjutjärnsblock och löpbana varierar med hastighet. Friktionen ökar med avtagande hastighet från ca 0,09 vid 80 km/h till ca 0,32 då hastigheten närmar sig noll (se figur 1 nedan). Detta medför att bromsverkan ökar kraftigt vid låga hastigheter. Detta är en av flera orsaker till att urspårningsrisken är betydligt större i Europa än i Amerika vid långa och tunga godståg.

Den amerikanska pneumatiska bromsen som är av direktlossande typ (se avsnitt 2.3) kräver bromsblock där friktionskoefficienten är relativt oberoende av hastigheten<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Dave van der Meulen: "Progress with Evaluation of Cable-based ECP Braking and Distributed Power", Presented at the 7<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference, Brisbane, June 2001

Orsaken till detta är att förare inte gradvis kan lossa bromsen, när hastigheten sjunker och friktionen tilltar, utan att bromsen släpper helt. Den ökande friktionen gör också att det är svårt att bedöma hur bromsverkan kommer att tillta och bromsningen kan bli kraftigare än vad föraren avsett. Tåget kan då stanna före den avsedda stopp-punkten. Det ger också en ökad risk för fastbromsning av hjulen när hastigheten sjunker.



Figur 1 Friktionskoefficienten  $\mu$  som funktion av hastigheten för några olika bromsblocksmaterial (princip)<sup>4</sup>

Högeffektbroms utnyttjas på personvagnar inom UIC. Det är en broms av R-karaktär (jmf bromsläge R i avsnitt 2.2.1) som används vid personvagnar med gjutjärnsblock. Då matas bromscylindern med ett högre tryck vid hastigheter  $>55$  km/h för att kompensera för friktionens hastighetsberoende.

Friktionskoefficienten vid gjutjärnsblock är beroende av blockkraften (den kraft varmed blocket trycks mot hjulet). Vid stora blockkrafter minskar friktionskoefficienten. Det begränsar möjligheten att öka bromsverkan.

De längstryckkrafter i tåget som beror på den inledningsvis kraftigare bromsning i tågets främre del medan bakre delar trycker på blir större då bromsningen påbörjas i låga hastigheter då man använder blockbroms med gjutjärnsblock. Undersökningar i Tyskland som gjordes 1964, med anledning av planer på att övergå till automatiska centralkoppel i Europa, visade att risken för urspårning vid långa tåg är stor om bromsningen inleds i hastighetsområdet 8-15 km/h<sup>5</sup> (se rapporten Automatkoppel). Risken för urspårning påverkas av kurvförhållanden i spåret, typ av vagnar, typ av koppel mm. Särskilt ogynnsamt är det då lätta öppna vagnar går mellan tyngre vagnar i spår med S-kurvor. I praktiken uppstår ett sådant fall vid en snabb inbromsning samtidigt som tåget med sin främre del går in till ett sidospår genom en kort växel t ex med vinkel 1:9, växellängd 29,0 m och kurvradie 190 m där största tillåtna hastighet (sth) på grund av växeln är 40 m/s. UIC norm 530-2 anger vilka krav på längstryckkrafter som en 2-axlig öppen, olastad vagn skall klara utan urspårningsrisk i några olika kombinationer av S-kurvor.

Den kraftigt ökade friktionen vid låg fart kan även leda till att hjulpar låser sig och kanar på rälerarna. Då kan hjulplattor uppstå mycket snabbt. Slagen mot rälen från ett hjul med hjulplatta kan förorsaka skador på rälen. Särskilt stor är skaderisken vid kyla då rälen är

<sup>4</sup> Evert Andersson, Mats Berg: *Järnvägssystem och spårfordon*, KTH Järnvägsteknik

<sup>5</sup> B Janke: *Entgleisungssicherheit von Güterwagen mit automatischer Mittelpufferkupplung*, Glasers Annalen 90 Jahrgang / Heft 10 Oktober 1966



skörare. Då kan en hjulplatta ställa till stor skada med många rälsbrott längs den bansträcka hjulet rullat. En ytterligare nackdel är att adhesionen mellan hjul och räl minskas då hjulet låser sig varvid bromssträckan blir längre vilket kan leda till säkerhetsrisker.

Hjul med hjulplattor över 40 mm längd leder till begränsning i tågets framförande enligt BV SÄO § 43:4. Är plattans längd 40–60mm får fordonet längst framföras till station som Trafikutövaren i samråd med Spårinnehavaren bestämt.

Vid lägre temperatur än -10°C får hastigheten vara högst 10 km/h. Vid högre temperatur erfordras ingen hastighetsnedsättning, dock skall hastighetsområdet 15–45 km/h undvikas.

Om skadan har större längd än 60 mm får fordonet gå endast till närmaste bevakad station. Hastigheten får härvid vara högst 10 km/h.

Låsning av hjulen vid bromsning med åtföljande hjulplattor kan sålunda leda till kostnader för omsvarvning av hjulparet och för reparation av rälsbrott på banan. Skadorna kan medföra stora förseningar av det egna och andra tåg som påverkas. Godset på en vagn med hjulplattor kanske måste omlastas till annan vagn och därmed bli än mer försenat.

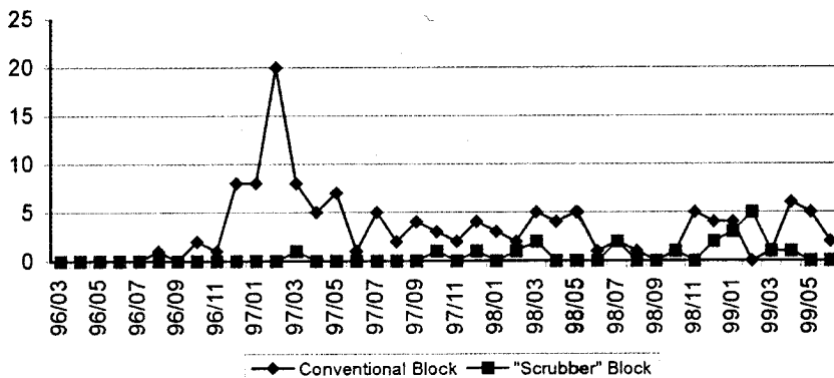
Vid blockbroms tas bromsenergin upp i hjulen och i bromsblocken som värms upp. Vid tunga tåg och långa lutningar kan hjulen bli mycket varma och hjulskador i form av sprickbildning uppstå. Ojämn bromsverkan mellan olika vagnar och hjulpar i tåget ökar risken för detta. Det gäller också om någon vagn pga. bromsfel får så kallad tjyvbroms dvs. den bromsar oavsiktligt. Följden kan bli förstörda hjul, urspårningar mm. Gnistbildning från hjulen kan också skada vagnen och orsaka bränder i träslipers och vegetationen längs banan. Vagnarna är därför försedda med speciella skydd i underredet för att skydda vagnen mot gnistsprut.

Särskilt bromsblock av gjutjärn nöter på hjulet vid bromsning vilket förorsakar slitage på gott och ont. Gjutjärnsblocken ruggar vid bromsning upp löpbanan på hjulet vilket förbättrar den uttagbara adhesionen mellan hjul och räl och därmed även bromsförmågan. Avnötningen tar också bort begynnande sprickor och andra defekter på löpbanan vilket är en fördel då de annars har tendens att växa. Det finns andra fenomen som orsakar orunda hjul, ”polygonisering”. Inga uppgifter har hittats i litteraturen om eller hur gjutjärnsblock respektive fiberblock bidrar till eller motverkar uppkomsten av orunda hjul.

Vanliga fiberblock har inte samma förmåga att putsa och rugga hjulets löpbana. I USA har man av därför utvecklat ett nytt ”scrubber” bromsblock som skall nöta bort felaktigheter och skador på löpbanan. Det består antingen av kompositmaterial med inlagda metallkorn eller av sintrat material. Järnvägsbolaget Burlington Northern Santa Fe (BNSF) använder sådana bromsblock på alla egna och många av de privatägda kolvagnar som trafikerar BNSF banor. Figur 2 visar hur dessa block minskar behovet att byta ut hjulpar pga. hjulskador<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Fred Carlson: *Railways Start to Realize Benefits of ECP Technology*, International Railway Journal June 2002, sid 19-20.



Figur 2 Utbytta hjulpar per månad p g a hjulskador på löpbanan vid konventionella fiberblock respektive "scrubber" block vid BNSF

En nackdel med blockbroms, särskilt då gjutjärnsblock används, är den höga ljudnivå vid bromsning som härrör från kontakten mellan block och hjul men också från slammer och vibrationer i bromsrörelsen. Gjutjärnsblock ger även högre ljudnivå då tåget rullar utan att bromsa på grund av den uppruggade ytan på hjulets löpbana. Ljudnivån bedöms bli ett i framtida miljöproblem i Europa och bullergränser kan därför komma att införas för godstrafiken till och från vissa tätorter nattetid som inte kan klaras med gjutjärnsblock. Nuvarande boggityper avger 96 dB(A) uppmätt 7,5 m från spåret vid 80 km/h<sup>7</sup>.

I Europa överväger bl. a. CFF och DB AG att övergå till fiberblock av kompositmaterial för att kunna minska ljudnivån med 8-10 dB(A) genom följande åtgärder (se även 2.1.2):

- Vagnar av ny konstruktion utrustas med utprovade och godkända fiberbromsblock typ K
- Existerande vagnar utrustas med fiberbromsblock typ LL
- Nya typer av fiberbromsblock utprovats

ERRI kommitte B126 i samarbete med bl a Becorit GMBH, som utvecklar och tillverkar friktionsmaterial för tågbrömsar, håller på att utveckla fiberbromsblock med hög friktion (typ K) för nykonstruerade fordon och med låg friktion (typ LL) som skall kunna ersätta gjutjärnsblock i befintliga brömsar.

Viss tveksamhet om fiberblockens funktion i snö, kyla och väta har förekommit och UIC underkommitté 5T, Bromsning, har gett ERRI uppdraget att i projektet B126.13 undersöka detta samt om bromssystem med fiberblock är lämpliga vid banförhållanden med stora lutningar<sup>8</sup>.

I den svenska malmtrafiken vid LKAB/MTAB har man övergått först till fiberblock och sedan till sinterblock<sup>9</sup>. Det har gjorts för att bättre kunna reglera tågbrömsen och för att minska längskrafterna och urspårningsrisken vid malmtågen. Man bytte omkring 1978 från gjutjärnsblock till fiberblock med inbyggda korn för att rugga upp löpbanan på hjulen och sedan till sinterblock omkring 1992.

<sup>7</sup> Markus Hecht, *In search of a quieter, lighter freight bogie*, Railway Gazette International September 2002, sid 563

<sup>8</sup> ERRI Outlook, Issue 7, October 2001

<sup>9</sup> Tord Karlsson, LKAB/MTAB, Privat Kommunikation

Fiberblocken hade nackdelen att fiberstoffet lade sig på rälshuvudet vilket försämrade adhesionen. Järnsinterblocken har utvecklats i samarbete med leverantören ABEX i Aachen, Tyskland. Blocken består av ren järnsinter utan kopparinblandning och inga extra hårda slipkor är inblandade. Kopparinblandning vill man undvika eftersom den antas bidra till att sprickor i hjulen växer till. Kopparn fyller sprickorna och har större värmeutvidgning än stålet i hjulet.

## 2.1.2 Skivbromsar

Skivbromsen består ytterst av två bromsbelägg som trycks mot båda sidorna på en speciell bromsskiva. Bromsskivorna kan vara monterade på hjulaxeln (vanligen mellan hjulen) eller på själva hjulen. Det senare är vanligt vid dragfordon då det ofta saknas utrymme för axelmonterade skivor. Bromsskivan är ventilerad genom luftkanaler för att bättre avleda den vid bromsningen alstrade värmen.

Beläggen kan antingen påverkas av bromscylinrar som är inbyggda i bromsok ute vid beläggen och där kolven trycker direkt mot belägget. I det fallet behövs inga eller få länkar mellan kolv och belägg. Däremot kan upphängningslänkar behövas som medger att oket kan röra sig i lateralled och kan följa hjulaxelns och bromsskivans lateräl rörelser relativt vagnsram och korg. Sådana bromsok har lite fjädring och spel varför kolvens slaglängd blir kort och precis.

Alternativt kan bromscylinrarn vara infästade i vagns- eller boggiramen och överföra rörelsen via länkage till tångliknande anordningar som trycker bromsbeläggen mot skivans båda sidor. Länksystemet är utformat för att medge att beläggen kan röra sig parvis med bromsskivans laterala rörelse relativt vagnen. I detta fall blir länkaget längre, och tyngre med ett antal ledpunkter varför glapp och fjädringen kan bli något större än vid individuella bromsok vid skivorna.

Bromsbeläggen är oftast av lämpligt fibermaterial. Bromsskivorna är i regel av stål, men kan också vara av någon aluminiumlegering eller kolfibermaterial för att minska vikten.

För- respektive nackdelarna med skivbroms jämfört med blockbroms är:

- + Belastar inte hjulen termiskt vilket minskar risken för skadade hjul och urspårning.
- + Ger ej gnistor som kan förorsaka bränder.
- + Tystare än blockbroms
- + Klarar höga hastigheter
- + Relativt lång tid mellan bromsbeläggen behöver bytas.
- + Relativt konstant friktion oberoende av hastigheten.
- Dyrare än blockbroms
- Tyngre än blockbroms och ger högre oavfjädrad vikt
- Har ingen rengörande och uppbyggande effekt på hjulens löpbanor, vilket ökar risken för fastbromsning. Fastbromsningsskydd kan därför behövas.
- Känslig för vatten och snö. Låga yttryck på bromsbeläggen försämrar vinter och våtegenskaperna.

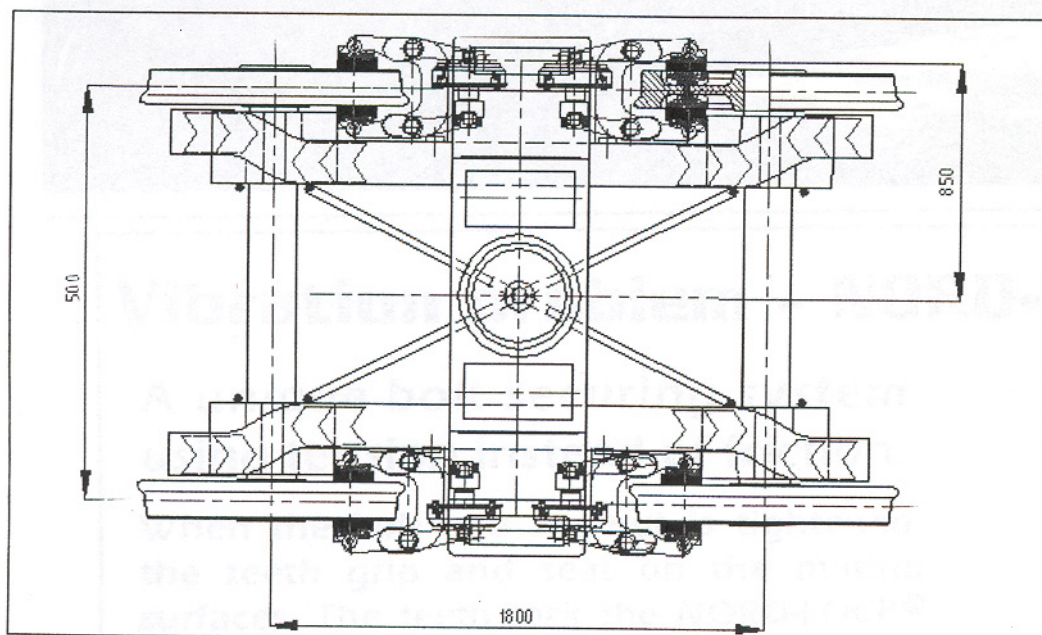
- Klara på detta inte att ta de stora skillnader i beläggkrafter som uppstår mellan tom och lastad godsvagn.
- Därför krävs anordning som minskar antalet verksamma skivbromsar på axeln vid tom vagn, samt skiftar överksam skiva för att få jämnt slitage.
- Kräver speciella axlar eller hjulskivor.
- Svårare att visuellt inspektera från markytan och från sidan av vagnen.
- Kräver grav för att byta belägg.

Skivbromsen kan erbjuda bättre möjlighet till snabb och mjuk ansättning av bromsen då den har mindre spel och fjädring i bromsrörelsen och kortare ansättningsväg än blockbroms. Då både vagnar med blockbroms och skivbroms kan ingå i samma tåg bör båda bromstyperna utföras med samma responstid för att inte längskrafter skall uppstå i tåget.

Den lägre ljudnivån är en viktig egenskap. Skivbromsar kan bli nödvändiga i framtiden på vagnar som skall trafikera tätorter nattetid för att klara kommande krav på låg ljudnivå om inte blockbromsen kan förbättras i tillräcklig grad. Därmed sänks ljudnivån såväl vid bromsning som vid rullning eftersom skivbromsen inte ruggar upp hjulens löpbanor som blockbromsen gör (åtminstone då gjutjärnsblock används). Nuvarande boggityper med blockbroms av gjutjärn avger 96 dB(A) uppmätt 7,5 m från spåret vid 80 km/h.

I Tyskland pågår ett projekt för att utveckla en ny boggi, LEILA, med bättre egenskaper än nuvarande boggier, bl a sänkt ljudnivå med två alternativa ambitionsnivåer 18 eller 23 dB(A)<sup>10</sup>. Den är utrustad med skivbromsar och har både boggiramen och axelboxarna liggande innanför hjulen. Bromsskivorna är monterade på hjulen i stället för på axeln (se figur 3). Därmed vinner man lägre oavfjädrad vikt och att bromsskivorna även fungerar som ljuddämpande element på hjulen. Man avser att använda bromsskivor av en aluminiumlegering för att minska den oavfjädrade vikten. De är dyrare men väger bara 59 kg jämfört med 166 kg för stål.

Om man uppnår 18 dB(A) sänkning av ljudnivån betyder det att 63 godsvagnar utrustade med LEILA boggier orsakar samma ljudnivå som en konventionell godsvagn och om man uppnår 23 dB(A) innebär det att 200 LEILA-utrustade vagnar har samma ljudnivå som en konventionell vagn.



onal,

Figur 3 LEILA-boggi med innanför hjulen liggande ramverk och lagerboxar samt skivbromsar med på hjulen monterade bromsskivor

### 2.1.3 Utbromsning

Med begreppet utbromsning (bromsprocenten) menas förhållandet i % mellan summan av blockkrafterna och summan av axellastkrafterna för vagnen. Inom UIC, med gjutjärnsblock och med bromsläge G eller P ligger utbromsningen mellan 65% och 100 %<sup>11</sup>.

I Nordamerika föreskriver AAR normer att utbromsningen skall vara minst 11 % och högst 13 % för fullt lastad vagn och högst 38 % för tom vagn. Till denna skillnad kommer att friktionen mellan bromsblock och hjul vid låga hastigheter är högre då gjutjärnsblock används som inom UIC (se figur 1), än då fiberblock används som inom AAR. Detta är en av förklaringarna till att tryckkrafterna inom tåget vid bromsning i låg hastighet och de därav följande urspårningsrisker är ett större problem för godståg inom UIC än inom AAR.

## 2.2 Det europeiska (UIC) styrsystemet

Såväl den (konventionella) *pneumatiska bromsen* (*P-bromsen*) av UIC-typ som den av AAR-typ har två gemensamma principiella svagheter:

- bromssignalen har låg utbredningshastighet
- huvudledningen används både för luftförsörjning (laddning) av bromssystemet och för att genom tryckvariationer styra bromsen i vagnarna

Huvudledning som löper genom tåget används både för att styra bromsen och för att leverera erforderlig kraft till bromscylindrarna i form av tryckluft. Ledningstrycket leds inte direkt till cylindrarna som vid *direktverkande* broms, i stället laddas förrådsluftbehållare i varje vagnarna med luft. När förrådsluftbehållaren är laddad har vagnen förmåga att bromsa med hjälp av den laddade luften. Detta är förutsättningen för att bromsen skall vara en *automatisk broms* även kallad *självverkande broms* eller *indirekt broms*. Med dessa begrepp avses att vagnens bromssystem skall automatiskt kunna nödbromsa. Bromsen ska sättas till med energi som finns lagrad i vagnens bromssystem om bromsledningen tappar trycket, t ex om ledningen dras isär och öppnas

---

<sup>11</sup> Knorr Bremse AG München; *Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte*

då ett koppel brister. I Europa används 500 kPa (5 bar) övertryck som normalt ledningstryck. I USA används däremot olika nominella ledningstryck anpassade efter respektive järnvägsbolags ban- och trafikförhållanden.

*Tågbronsen*, dvs bromsarna i vagnarna, styrs från loket genom tryckvariationer som påförs huvudledningen genom förarens *tågbronsventil* på loket och som fortplantas genom ledningen och påverkar en styrventil i respektive vagn.

Vid trycksänkning öppnar styrventilen en kanal från förrådsluftbehållaren till bromscylindern som därmed trycksätts och via den mekaniska bromsrörelsen pressar bromsblocken mot hjulen. Styrventilen reglerar trycket till bromscylindern så att bromskrafterna är ungefär proportionella mot trycksänkningen ned till 350 kPa. Maximal bromskraft erhålls vid en trycksänkning med 150 kPa från 500 till 350 kPa. Då har tåget *full broms*.

Vid en s k *driftbromsning* sänks trycket i huvudledningen med 100 kPa, från 500 till 400 kPa. Då erhålls således ungefär 2/3 av den maximala bromskraften.

Vid nödbroms töms huvudledningen så snabbt som möjligt ned till 0 kPa (fria luften). Bromskraften blir dock inte större än vid 350 kPa ledningstryck, men ledningen töms snabbare och tillsättningen av bromsen sker snabbare.

Då trycket åter höjs i ledningen lossar bromsen gradvis med tryckhöjningen. Samtidigt laddas förrådsluftbehållarna. Detta gällde dock inte för de äldre enkammarbromsarna av amerikanskt ursprung som tidigare även användes här i Europa. De lossade helt då ledningstrycket höjdes. Det gör även moderna amerikanska godstågsbromsar. Den europiska bromsen (UIC standard) med *gradvis lossningsförmåga* (*Gradually Release Brake*) skiljer sig i detta viktiga avseende från den amerikanska godstågsbromsen (AAR standard) som *lossar direkt* då ledningstrycket höjs (*Direct Release Brake*).

Den maximala signalhastigheten i luftledningen begränsas av ljudhastigheten och strömningsförluster i ledningarna. Ljudhastigheten varierar med lufttemperaturen enligt tabell 1.

Tabell 1 Ljudhastigheten i luft vid olika lufttemperaturer

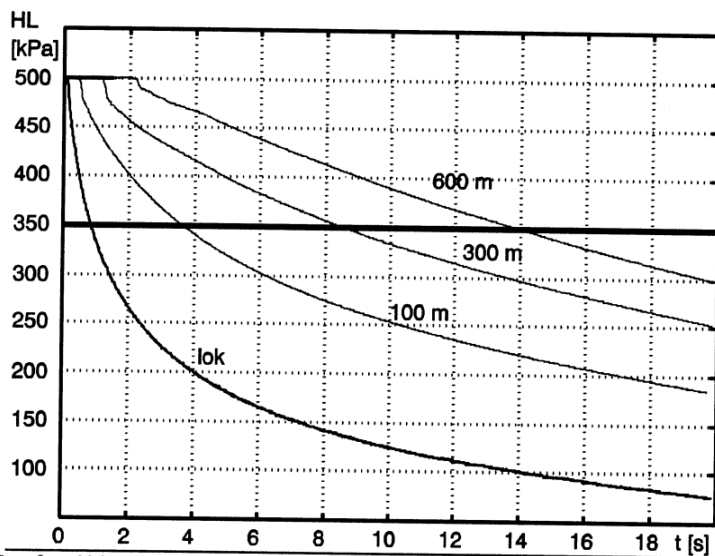
Lufttemperatur °C	-40	-20	0	20	40
Ljudhastighet m/s	307	319	332	344	355

Då trycket sänks eller höjs genom att luft släpps ut eller in vid förarventilen börjar luft strömma i ena eller andra riktningen längs ledningen pga. luftens kompressibilitet. Men luftflödet hindras av strömningsmotståndet i ledningen och strypningar i ventiler och kopplingar så att signalhastigheten begränsas till ca 250 – 280 m/s. Detta medför en tidsfördröjning innan beordrad bromsningen påbörjas som tilltar bakåt längs tåget (genomslagstiden). Flödet och signalhastigheten påverkas av ledningens tvärsnittsarea. Två olika grovlekar förekommer. Enligt UIC norm 540 p 1.1 skall huvudledningen ha en innerdiameter på antingen 25 eller 32 mm. Kravet på utbredningshastighet är minst 250 m/s vid nödbromsning<sup>12</sup>.

För äldre vagnar godkända för internationell trafik före 1953-01-01 är kravet betydligt blygsammare, minst 100 m/s för bromsgrupp G, respektive 150 m/s för bromsgrupp P. Utbredningshastigheten har alltså höjts mycket under årens lopp. Men fortfarande är

<sup>12</sup> UIC norm 540 p 1.16

utbredningshastigheten ett stort problem. Nu har den nått så nära den teoretiskt möjliga gränsen, ljudhastigheten, att ingen nämnvärd höjning av signalhastigheten är möjlig med nuvarande teknik. För höja bromssignalens utbredningshastighet krävs ett annat signalmedium, vilket är huvudorsaken till att *ECP-bromsar* har utvecklats. Figur 4 nedan visar trycket i huvudledningen på olika avstånd från loket som funktion av tiden vid nödbromsning<sup>13</sup>.



Tryck i 600 meters huvudledning vid olika avstånd från lok (nödbroms)

Figur 4 Luftrycket som funktion av tiden i huvudledningen på olika avstånd från loket vid nödbromsning<sup>14</sup>

Ytterligare en egenskap fördröjer och minskar till en början bromsverkan i tåget. Trycksänkningens tidsderivata avtar (*lägre tryckgradient*) med ökande avstånd från förarventilen varför beordrad bromskraft tillväxer långsammare i tågets bakre delar än i de främre.

Båda dessa fördröjningar tilltar alltså med ökande längd på bromsledningen, dvs. ökande tåglängd. Vid långa tåg uppstår därför följande problem:

- Bakre delar av tåget börjar bromsar senare och till en början även med svagare tillväxthastighet än främre delar. Bakre tågdelar trycker därför mot de främre och förorsakar stora längstryckkrafter. Detta medför risk för urspärning, för skador på buffertar, koppel och vagnarna i övrigt och kan föranleda ryck som även skadar gods.
- Bromssträcken blir längre eftersom det tar längre tid att bygga upp bromskraften i långa tåg och medelretardationen därmed blir sämre vid viss given bromskraft.
- Vid lossning av bromsen fördröjs signalen mer än vid bromsning eftersom samtliga förrådsluftbehållare längs tåget skall laddas upp via huvudledningen när lossningssignalen ges, dvs. ledningstrycket stiger. Dessa konsumerar luft vilket gör att ledningstrycket stiger långsammare. UIC bromsen lossar därför sakta eftersom den lossar i takt med att trycket stiger i huvudledningen.

Den andra principiella begränsningen att huvudledningen används såväl för *luftförsörjning* som för att *överföra bromssignalen* medför att man inte kan ladda luft

<sup>13</sup> SJ: *Bromsning av rälsbundna fordon*, Lars Fehlund, MTB, september 1996.

<sup>14</sup> SJ: *Bromsning av rälsbundna fordon*, 13sidor, Lars Fehlund, MTB, september 1996.

under tiden man bromsar. Man kan börja ladda igen först när bromsen lossas. Det leder också till långsammare lossning av UIC bromsen som nämndes ovan. Minskningen i bromscylindertryck får bli högst 15 % vid upprepad bromsning och lossning och är i praktiken ännu mindre för moderna bromsar inom UIC<sup>15</sup>.

Däremot lossar AAR bromsen (*Direct Release Brake*) så snart ledningstrycket i respektive vagn blir högre än behållartrycket. Detta är en fördel när man snabbt vill lossa bromsen på ett långt amerikanskt godståg. Men den direkta lossningen medför också allvarliga nackdelar. AAR-bromsen, liksom vår ursprungliga enkammarbroms, får försämrade bromsförmågan (bromsutmattning) om bromsning och lossning upprepas på relativt kort så att förrådsluftbehållarna inte hinner bli laddade med luft mellan bromsningarna. I Nordamerika där man använder direktlossande bromsar och där de långa tågen kräver stora luftmängder och lång laddningstid är det däremot ett stort problem och en risk som måste bemästras genom förarens personliga färdighet och omdöme.

## 2.2.1 Begreppen bromsläge respektive bromsgrupp

Det finns två olika begrepp *bromsläge* respektive *bromsgrupp*. Bromsläge avser en inställning av bromsen på den enskilda vagnen eller mera allmänt på fordonet, dvs. även på lok. Bromsgrupp avser hela tåget och bestämmelser (t. ex. BV SÄO § 41 och Green Cargo dokument A 41-02 ”Bromsinstruktion i järnvägstrafik” avsnitt 4.1) anger hur bromslägena på olika fordon skall vara inställda då tåget framförs i någon angiven bromsgrupp. I Sverige framförs tåg i bromsgrupp P/R eller i broms G. Utomlands finns även andra bromsgrupper, t ex i Tyskland L som beteckning för Langer Lok, se 2.2.4

## 2.2.2 Bromsläge G, P och R

Genom att öka tillsättningstiden för bromscylindern så att den blir lång i förhållande till bromssignalens utbredningstid (reglertiden för bromsen ska vara lång i förhållande till signalens löptid längs tåget), kan man minska de temporära skillnaderna i bromskrafter längs tåget och därmed tryckkrafterna mellan vagnarna.

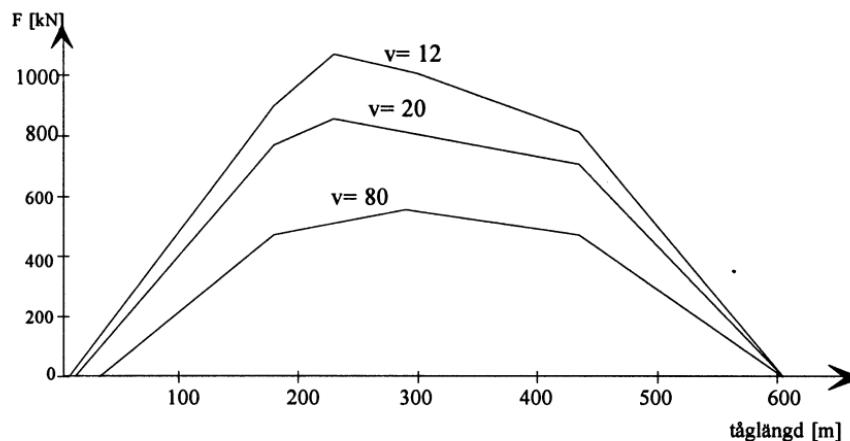
Tillsättningstiden på fordonet kan vid de europeiska bromssystemen av UIC-typ regleras genom att välja *bromsläge* (*R*, *P* eller *G*) med ett omställningshandtag på respektive vagn. Figur 5 visar tryckkraften vid hastigheterna 12, 20 respektive 80 km/h i ett 600 m långt tåg då vagnarna körs i bromsläge P respektive G<sup>16</sup>.

---

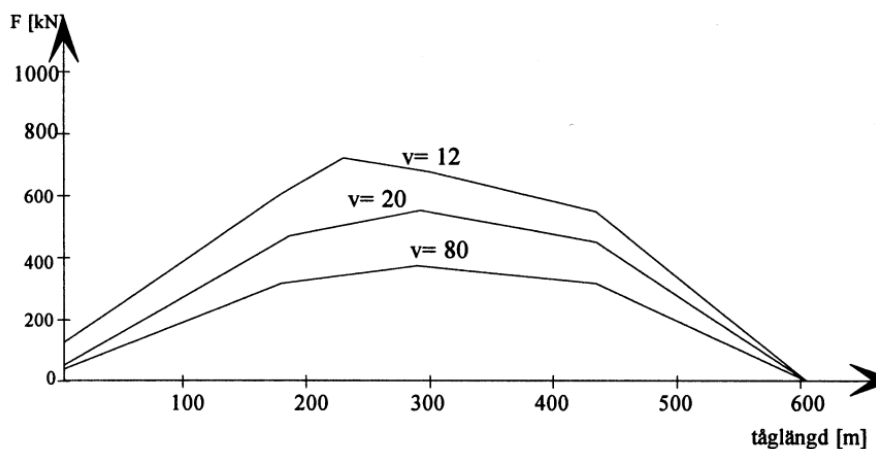
<sup>15</sup> UIC Code 540, appendix B, Table of conditions No 15

<sup>16</sup> SJ: *Bromsning av rälsbundna fordon*, Lars Fehrlund, MTB, september 1996.



**Bromsläge P**

*Exempel på maximala buffertkrafter vid nödbroms från olika hastigheter  
Bromsläge P*

**Bromsläge G**

*Bromsläge G*

*Figur 5 Tryckkrafter i ett 600m långt tåg vid bromsläge P (övre bilden) respektive bromsläge G (nedre bilden) vid hastigheterna 12, 20 respektive 80 km/h*

### 2.2.3 Bromsens reaktionstider vid olika bromslägen

UIC norm 540 punkt 1.18 reglerar kraven, inom det enskilda fordonet, på hur snabbt bromsen skall ansättas vid nödbromsning och vanlig driftbromsning vid bromsläge R, P och G.

Figur 6 visar bromscylindertrycket som funktion av tiden vid bromsning och lossning<sup>17</sup>.

Vid läge G (godståg) skall till en början bromscylinderns tryck snabbt byggas upp till sådan nivå att bromsblocken ansätts mot hjulen. Blockkraften skall därför snabbt uppnå 10 % av det maximala värde som kan nås vid slutet av bromsningen. Därefter skall trycket byggas upp progressivt så att fyllningstiden från det att luften börjar strömma in i cylindern till det nått 95 % av slutvärdet ligger mellan 18 och 30 sekunder oavsett om det finns lastväxel, lastbromsautomat eller inte.

<sup>17</sup> SJ: *Bromsning av rälsbundna fordon*, Lars Fehrlund, MTB, september 1996.

I läge P och i grupp R som båda ursprungligen var avsedda för passagerartåg men som numera används i godståg skall trycket fyllas upp till sitt maxvärde kontinuerligt oavsett om lastbromsautomat eller lastväxel finns eller inte. Tidskravet vid nödbromsning från det att luft börjar strömma in i cylindern till det att cylindertrycket nått 95 % av slutvärdet skall vara mellan 3 och 5 sekunder, utom om det finns lastbromsanordning då det skall vara mellan 3 och 6 sekunder. Orsaken är att bromsblocken bör snabbt men ändå med relativt låg kraft ansättas mot hjulbanorna och blockkraften därefter successivt ökas för att få en mjuk inledning på retardationen i tåget.

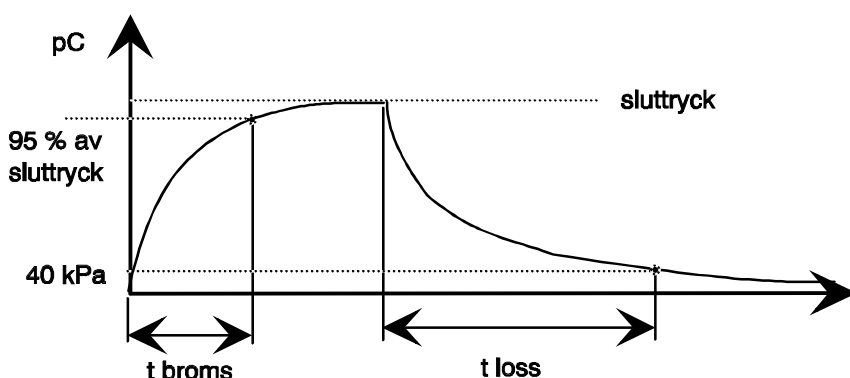
Bromscylinderns kolv har en viss väg (spel) att gå innan blocken når fram till hjulet. Bromsregulatorn är en anordning som automatiskt skall justera spelet då slitage på bromsblock och hjulringar respektive på bromsbelägg och bromsskivor uppkommer så att konstant och lagom slaglängd för kolven erhålls. Slaglängden påverkas ytterligare av glapp och fjädringar i bromsrörelsen. Om cylindertrycket stiger för snabbt hinner kolven, bromsrörelsen och blocken pga. spelet få hög hastighet och slår mot hjulet med stor kraft pga. rörelseenergin samt den ytterligare tryckkraft som beror på cylindertrycket. För att undvika detta vill man att cylindertrycket tillväxer successivt.

Vid ett komplett tåg blir fördröjningen för bromsarnas tillsättning större än inom en enskild vagn på grund av bromssignalens utbredningstid. Utbredningshastigheten för bromssignalen vid nödbromsning från normalt ledningstryck skall vara minst 250 m/s oberoende av tågets sammansättning. Detta gäller för tåg med en längd av 500 m eller mera där minst 50 % av de dragna fordonen skall vara bromsade. Utbredningshastigheten definieras som kvoten mellan bromsledningens längd, beräknad utan att grenledningar tas med, från förarventilen till den bakre kopplingsventilen delat med tiden från det förarventilen sätts i bromsläge till luft börjar strömma in i bromscylindern på det bakersta fordonet.

Då bromsen lossas skall cylindertrycket avta progressivt och tiden mäts inom respektive fordon från det luften börjar strömma ut ur bromscylindern till det nått 0,4 bar.

Tiden för lossning skall för **ett separat fordon** vara

- mellan 45 och 60 sekunder i läge "G"
- mellan 15 och 20 s i läge "P" (för vagnar med totalvikt 70 ton och däröver är tider mellan 15 och 25 sekunder tillåtet).



Figur 6 Bromscylindertryck vid bromsning och lossning

När bromsen lossas på ett komplett tåg efter full driftbromsning och utan att bromsen har överladdats så att förnyad bromsning påverkas negativt, får tiden från det lossningsmanövern beordras genom förarventilen till bromscylindertrycket på sista fordonet fallit till 0,4 bar inte överstiga:

- I läge "G", 70 sekunder för ett tåg med 750 m längd, med huvudledning med innerdiameter 32 mm och bestående av minst 50 vagnar som samtliga är bromsade.
- I läge "P", 25 sekunder för ett tåg med 400 m längd antingen bestående av 15 boggivagnar (personvagnar) med en huvudledning med en innerdiameter av 25 mm, eller av 20 vagnar (2 axliga och/eller boggi) med en huvudledning med en innerdiameter av 32 mm.

Dessa tider skall kunna uppnås även om den fulla driftbromsningen föregåtts av några begränsade driftbromsningar med åtföljande lossning av bromsen som lett till ett bromscylindertryck ungefär motsvarande en tredjedel av trycket vid full driftbromsning.

För långa tåg uppstår alltså en fördröjning då bromsen skall lossas. Den ett hinder när man vill öka godstågens effektivitet och snabbhet. För att bemästra längstryckkrafterna i längre tåg måste man välja en lång ansättningstid (bromsläge). Redan vid 600 t vagnvikt kan tryckkrafterna bli så stora i tåget att man inte kan använda bromsgrupp P/P (loket i bromsläge P/vagnarna i läge P) om tåget är utrustat med skruvkoppel och sidobuffertar<sup>18</sup>. Bromsgrupp G ger längre bromssträcka och lägre hastighet. Dessutom tar det lång tid att lossa bromsen i läge G.

Detta är en av förklaringarna till att det inte går att köra mycket långa godståg med UIC med gradvis lossande tryckluftbroms, medan det går bra med AAR direktlossande bromssystem, men till priset av andra nackdelar.

Problemen med de konventionella tryckluftbromssystemen kan lösas med datorstyrda bromssystem (ECP-bromsar) och en viss förbättring kan uppnås med automatkoppel. ECP-bromsen löser problemen främst genom sin snabba styrsignal som praktiskt taget eliminerar längskrafterna i tåget vid bromsning och automatkoppel med stabiliserande länksystem genom att de medger något större längsriktade tryckkrafter i tåget utan att risken för urspårning ökar. Detta beskrivs senare i avsnitten om ECP-bromsar respektive i rapporten Automatkoppel.

I tabell 2 visas reaktionstider och tryck för bromsgrupper inom UIC. Den nordamerikanska (AAR) bromsen tagits med för jämförelse.

Tabell 2 Bromslägen inom UIC samt jämförelse med AAR, tiderna avser en enskild vagn

Bromsläge	Bromscylinder Tryck	Bromscylinder Tillsättningstid (s)	Bromscylinder Lossningstid (s)
R	Högt	3 - 5	15 - 20
P	Lågt	3 - 5 (3 - 6) <sup>1</sup>	15 - 20
G	Lågt	18 - 30	45 - 60
AAR (Nordamerika)	(Kan variera <sup>2</sup> )	- 60	( Direct Release <sup>3</sup> )

<sup>1</sup>Då lastbromsanordning finns

<sup>2</sup>Beroende på att AAR broms är av typ *equalizing system*, se 2.3.1.2 och bilaga 2

<sup>3</sup>Bromsen lossar direkt då ledningstrycket höjs, se AAR-bromsen

<sup>18</sup> Gerhard Stieler: Der Güterzug in Bremsstellung „Personenzug“, Eisenbahn Technische Rundschau 44 (1995) H. 12 Dezember

## 2.2.4 Val av bromsgrupp för tåg

Förenklat gäller att i Sverige körs de flesta resandetåg i bromsgrupp R, godståg i P, utom malmtåg som körs i G.

Fullständigare gäller för godståg i bromsgrupp P/R<sup>19</sup>:

Om vagnvikten är större än 800 ton skall verksamt lok ha bromsläge G och vagnarna P.

Om vagnvikten är högst 800 ton och mer än hälften av vagnarna har bromsläge R gäller:

- Loket skall gå i R, om det har bromsläge R, annars i P.
- Vagn skall gå i R, om den har bromsläge R, annars i P

Om vagnvikten är högst 800 ton och högst hälften av vagnarna har bromsläge R gäller:

- Loket skall gå i bromsläge P
- Vagnen skall gå i P, om vagnen har bromsläge P. Om vagnen endast har bromsläge R skall den gå i bromsläge R.

Andra inställningar kan förekomma utomlands. I en tysk tidskriftsartikel används följande beteckningar för bromsgrupper och inställningar av bromslägen<sup>20</sup>:

- P/P loket i bromsläge P, vagnarna i läge P
- G/P loket i bromsläge G, vagnarna i läge P
- LL loket och de första 5 vagnarna i bromsläge L ("Langer Lok"), resten av vagnarna i läge P
- G/G loket i bromsläge G, vagnarna i läge G

Tidsfördröjningarna vid bromsgrupp G gör att bromssträckan blir lång. Beroende på avståndet mellan försignaler och huvudsignaler kan bromsläge G medföra lägre tillåten hastighet. Vid 1000 m försignalavstånd blir maximala hastigheten 90 km/h i bromsläge G<sup>21</sup>.

För att förkorta bromssträckan vid konventionell tryckluftbroms kan anordningar som påskyndar utsläppet av luft längs huvudledningen och som motverkar att tryckgradienten avtar användas. De öppnar ett utsläpp med stor diameter vid varje styrventil (brake-pipe emptying accelerator, snabbbromsventil). Många försök visar emellertid att sådana system, tvärt emot allmän uppfattning, har negativ inverkan på längskrafterna. I bromsläge P kan längstryckkraften bli kritisk vid tåglängder över 500 m beroende på tågets sammansättning<sup>22</sup>. (Se även rapporten Automatkoppl).

Vill man köra längre tåg med konventionell broms återstår bara möjligheten att använda bromsgrupp G. Försök vid SNCF i Frankrike visar att inte ens då kan man ha längre tåg än ca 1000m. Detta bekräftas av försök vid schweiziska SBB som visar att vid längder över 750 m måste tåget vara homogent sammansatt vad gäller vagn typer och laster. De dynamiska krafterna i tåget ökar inte bara med tåglängden utan också med ökande massa hos vagnarna.

---

<sup>19</sup> Green Cargo Dokument A 41-02 *Bromsinstruktion i järnvägstrafik*

<sup>20</sup> Gerhard Stieler, *Der Güterzug in Bremsstellung "Personenzug"*, Eisenbahn Technisches Rundschau, Dezember 1995

<sup>21</sup> Gerhard Stieler, *Der Güterzug in Bremsstellung "Personenzug"*, Eisenbahn Technisches Rundschau, Dezember 1995

<sup>22</sup> Frank Minde, Stefan Witte: *FEBIS: Kommunikationsbasierte elektronisch gesteuerte bromse*, EisenbahnTechnisches Rundschau, Mai 2001

Tunga systemtåg för malm och kol är exempel på homogena tåg. Där är normalt antingen alla vagnar tomma eller alla fullt lastade. Tomma tål de inte så höga tryckkrafter men då är också tågvikten liten. Alternativt när tåget är lastat är tågvikten kanske 5 till 6 gånger så stor, men då tål vagnarna större tryckkrafter utan att spåra ur, eftersom deras totalvikt också ökat proportionellt lika mycket. Så gynnsamt är det inte alls i den allmänna godstrafiken med olika typer av lätta tomvagnar och tungt lastade vagnar blandade i tåget.

Ett sätt att få en relativt kort bromssträcka och samtidigt begränsa längstryckkraften är att använda bromsläge G för loket och de främre vagnarna och bromsläge P för övriga vagnar i tåget. Främre delen av tåget får då full bromsverkan senare än övriga delar och ”sträcker ut” tåget när man börjar bromsa. Detta sätt att minska bromsverkan kallas på engelska ”train mass restriction” och på tyska ”Zugmassenrestriktion”. Med benämningen (eller bromsgruppen) LL ”Lange Lok” menas att loket och de första 5 vagnarna går i bromsläge G, resten av vagnarna i läge P. Men med denna metod kan man ändå bara klara tåglängder upp till 700 m<sup>23</sup>. LL används inte inom Sverige.

Om LL används i ett tåg som byter färdriktning (gör rundgång med loket till tågets andra ända) måste man ställa om bromsläget på de 5 första och 5 sista vagnarna i tåget. Det är personalkrävande och utgör en risk för att ”mänskliga fel” ska begås. Bromsläge LL ger längre bromssträcka än bromsläge G/P och kan medföra sänkt hastighet pga. lägre bromstal i tåget. På sikt kan därför inte LL accepteras, bara bromsläge P/P och G/P kan i längden accepteras på Europas järnvägar.

För att förbättra produktiviteten på Europas järnvägar beslöt UIC 1995-01-01 att alla vagnar i gränsöverskridande trafik skall vara avsedda för minst 100 km/h. Denna hastighet kräver bromsläge P som medför högre längstryckkrafter särskilt vid låga hastigheter. Vid låga hastigheter fås högre friktion då gjutjärnsbromsblock används (se figur 1). Längstryckkrafter skulle väsentligt överskrida tillåtna värden med hänsyn till risken för urspårning (UIC norm 530-2) om inte begränsande regler utarbetades.

UIC och ERRI sakutskott har utrett denna problematik. Följande standardvärden gäller för gränsöverskridande trafik för godståg i Europa:<sup>24</sup>

- 0 - 600 t Bromsläge P/P (loket i P/vagnarna i P)
- 601 - 1200 t Bromsläge G/P (loket i G/vagnarna i P)
- 1200 - 1600 t LL (Lange Lok)

(Anmärkning: Högre längstryckkrafter, dvs. tyngre tåg skulle kunna tillåtas om ett automatiskt centralkoppel med stabiliserande länksystem införs se rapporten Automatkoppel. Det ger nya förutsättningar och kan medge något längre och tyngre tåg med bibehållen bromsgrupp och hastighet)

## 2.2.5 Svenska begränsningar i tåglängd med hänsyn till bromsgrupp

Reglerna har ändrats på senare år. Tidigare (1996) gällde följande:

Största tillåtna tåglängd med hänsyn till bromsgruppen är<sup>25</sup>:

<sup>23</sup> Gerhard Stieler, *Der Güterzug in Bremsstellung "Personenzug"*, Eisenbahn Technisches Rundschau, Dezember 1995

<sup>24</sup> Gerhard Stieler, *Der Güterzug in Bremsstellung "Personenzug"*, Eisenbahn Technisches Rundschau, Dezember 1995

<sup>25</sup> SJF 010 (são/säok), ändringstryck 14 1996-05-13 § 42 p2

- Bromsgrupp R 495 m, dock högst 68 axlar
- Bromsgrupp P, resandetåg 575 m, dock högst 80 axlar
- Bromsgrupp P, övriga tåg 730 m
- Bromsgrupp G 880 m

Sedan 200-06-13 gäller följande:

Största tillåtna tåglängd med hänsyn till bromsgruppen<sup>26</sup>:

- Bromsgrupp P/R 730 m
- Bromsgrupp G 880 m

Tåglängder över 750 m tycks dock strida mot en ny uppfattning att huvudledningen inte är effektiv över 750m (se 6.3.2).

## 2.3 AAR pneumatiska godstågsbroms

I bilaga 2 ges en mera ingående beskrivning av den amerikanska tryckluftbromsens funktionssätt och av några förbättringar som införts under årens lopp för att höja prestanda och säkerhet.

I det följande beskrives i första hand det som skiljer AAR-bromsen från UIC-bromsen..

Det verkställande mekaniska bromssystemet skiljer sig bl a genom att fiberblock eller sintrade block används i stället för bromsblock av gjutjärn. Friktionskoefficienten har därför litet hastighetsberoende. På grund av utvecklingen mot allt större laster och bruttovikter har påkänningarna på bromsblocken ökat med åren, men AAR kravspecifikationer för bromsblock har inte ändrats. Nya specifikationer tas nu fram inom AAR för bromsblock som skall tåla högre bromseffekt med minskad risk för fading (avtagande bromsförmåga då bromsblocken blir mycket varma).

Användning av anordningar för lastutbromsning ökar i Nordamerika som följd av utvecklingen på godsvagnsområdet. Förhållandet mellan vagnarnas bruttovikt och tomvikt ökar allt mer. Därför ändras också relationen mellan utbromsningen vid tom respektive lastad vagn från att tidigare varit ca 60 % till numera 50 % eller 40 %. Utrustning av typ 40 % tom/last innebär att bromskraften vid tom vagn är 40 % av den vid lastad vagn<sup>27</sup>.

Med begreppet *Design Brake Ratio, DBR*, menas *utbromsningen* eller *bromsprocenten* dvs. förhållandet i % mellan summan av bromsblockskrafterna och summan av axellasterna för vagnen.

AAR och bromsfabrikanterna rekommenderar om möjligt en *utbromsning (DBR)* på 30 % för tomma vagnar. Högsta tillåtna utbromsning vid tom vagn är 38 %. AAR kräver en utbromsning vid fullt lastad vagn på minst 11 % och högst 13 %. Utbromsningen relateras till 50 psi (3,45 bar) cylindertryck. Den kan i praktiken både bli högre och lägre vid nödbromsning, eftersom den också beror av det nominella ledningstrycket men framför allt av det aktuella trycket i förrådsluftbehållaren då nödbromsningen inleds. Anledningen till detta är ”equalization-principen”.(Se bilaga 2). Det nominella

<sup>26</sup> BVF 900.3 SÅO (2000-06-13) § 42 p2

<sup>27</sup> Fred Carlson: *Railways Start to Realize Benefits of ECP Technology*, International Railway Journal June 2002, sid 19-20.

ledningstrycket varierar mellan järnvägsbolagen<sup>28</sup>, vanligen från 65 till 90 psi (4,5 till 6,2 bar). I undantagsfall förekommer 100 psi på banor med stora lutningar.

Vid tom vagn, 90 psi (6,21 bar) ledningstryck och användningen av gjutjärnsblock, det senare dock är ett undantagsfall i USA, och vid nödbromsning kan utbromsningen komma upp till ca 80 %.<sup>29</sup> Den är i därmed i samma storleksordning som används inom UIC. Som jämförelse kan nämnas att inom UIC vid bromsläge G och P samt gjutjärnsblock är utbromsningen normalt ca 65 till 100 %<sup>30</sup> Till detta kommer att gjutjärnsbromsen har en annan och i hög grad hastighetsberoende friktionskoefficient än fiberblock (figur 1).

### 2.3.1 Styrsystemet vid AAR P broms

För att förstå fördelarna med ECP-broms vid amerikanska godståg behöver man även känna till något om egenskaperna hos styrsystemet vid AAR konventionella P broms.

De amerikanska godstågens stora längd och höga tågvikt leder till särskilt stora problem och svårigheter med den vanliga tryckluftbromsen.

De viktigaste skillnaderna mot UIC-bromsen är:

- AAR bromsen är av typ *Direct Release*
- AAR bromsen är av ”*equalization*” typ (se 2.3.1.2 och bilaga 2)
- Det finns inga bromsgrupper och därmed möjlighet att välja ansättningstiden.
- Tillsättningstiden är mycket lång (upp till 60 s)
- Bromsblock av fibermaterial med hastighetsoberoende friktion
- Låg utbromsning

#### 2.3.1.1 Direktlossande broms

AAR bromsen av typ *direct release* används för amerikanska godståg. För amerikanska persontåg används däremot bromsar med *gradvis lossningsförmåga* som i Europa.

Däremot lossar AAR bromsen (direct release) så snart ledningstrycket i respektive vagn blir högre än behållartrycket. Detta är en fördel när man snabbt vill lossa bromsen på ett långt amerikanskt godståg. Men den direkta lossningen medför också allvarliga nackdelar. AAR-bromsen får försämrade bromsförmågan (utmattning) om bromsning och lossning upprepas på sådant sätt att förrådsluftbehållarna inte hinner bli ladda upp lufttrycket emellan bromsningarna. I Nordamerika där de långa godstågen kräver stora luftmängder och lång laddningstid då bromsen lossas är detta ett problem och en risk som måste bemästras genom förarens personliga färdighet och omdöme.

För att påskynda tryckstegringen längs ledningen och därmed att bromsen lossar försöker man fördröja att behållarna laddas vilket man å andra sidan försöker kompensera med olika andra anordningar som efterhand införts för att förbättra bromssystemet ( se bilaga 2).

---

<sup>28</sup> Fred Carlson: *Railways Start to Realize Benefits of ECP Technology*, International Railway Journal June 2002, sid 19-20.

<sup>29</sup> Knorr Bremse AG München; *Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte*

<sup>30</sup> Knorr Bremse AG München; *Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte*

Laddningen av bromssystemet tar därför mycket lång tid. Särskilt den första laddningen av tåget i utgångsläget på rangerbangården kan ta en timma, men även under tågets gång tar det lång tid att åter ladda upp trycket i behållarna efter en bromsning med åtföljande lossning.

### 2.3.1.2 Ojämn bromsverkan vid AAR P-broms

En viss bromsning (trycksänkning i huvudledningen) kan vid AAR-bromsen ge upphov till skillnader i cylindertryck och bromskraft mellan tågets vagnar. En anledning är att bromsen är av ”*equalization*” typ (se bilaga 2). Det innebär att bromscylindertrycket beror bland annat på förhållandet mellan behållarens volym och summan av volymerna hos bromscylindern, ledningen från behållaren till cylindern samt den volym som representerar kolvens rörelseväg. Kolvens rörelseväg kan variera. Den beror på hjul- och blockslitage, bromsjusteringens läge samt fjädring och glapp i bromsrörelsen.

Bromstrycket i cylindern ger upphov till en kolvkraft som via bromsrörelsens häv- och dragstänger överför bromskraften till bromsblocken. Den resulterande blockkraften beror också på kolvarean och på utväxlingen i bromsrörelsen. Den minskar av kraften i retur fjädern och friktionen i bromsrörelsen som varierar mellan vagnarna.

Spridningen i bromscylindertryck har på senare år ökat genom införandet av moderna vagnar med flera bromscylindrar placerade i boggierna med långa ledningar från behållaren till cylindrarna vilket försvårar att få rätt balans mellan behållarens och cylindrarnas volymer.

På grund av läckage i bromssystemet kan ytterligare skillnader i bromsverkan uppstå mellan vagnarna i tåget. Om förrådsluftbehållaren läcker på en vagn under bromsning lossar bromsen helt så snart behållarens tryck blir lägre än bromsledningens vilket alltså kan ske mycket snart efter bromsningen påbörjats.

Amerikanska styrventiler saknar eftermatning. Om bromscylindern läcker sjunker därför cylindertrycket och avtar bromskraften med tiden sedan bromsningen påbörjats och med en hastighet som beror på läckagets storlek.

Den ojämna bromsverkan i tåget medför att en del hjul får högre medan andra får mindre termisk belastning än genomsnittet. I långa lutningar uppstår med tiden ökande skillnader i hjultemperaturen bland vagnarna med risk för att hårt belastade hjul överhettas och skadas, med risk för urspårning som följd.

Trots alla förbättringar som införts under årens lopp (se bilaga 2) kvarstår många problem och nackdelar med AAR P broms som är till hinder för snabbare, säkrare och bättre godståg. Tillverkarna av *emulerande ECP-bromsar* hävdar att den emulerande ECP-bromsen fungerar bättre än den konventionella bromsen även i P-mode. Den emulerande ventilen mäter kontinuerligt trycket i huvudledning och cylindertrycket och reglerar cylindertrycket med stor noggrannhet. Därmed kompenserar den för eventuellt läckage så att ovannämnda problem elimineras.

## 2.3.2 Nackdelar med AAR P broms

De viktigaste nackdelarna med AAR konventionella P-broms är:

- Begränsad signalhastighet för bromssignalen gör att tågets främre delar börjar bromsa före bakre delar.
- Detta föranleder ryck ”slack run-in” och stora längstryckkrafter som kan leda till urspårning, eftersom vagnar längre bak till en början fortsätter obromsade och sedan under en tid svagare bromsade än de främre och trycker på bakifrån.



- Den begränsade signalhastighet ger lång bromssträcka.
- Bromsledningen är inte tillgänglig för laddning under tiden tåget bromsar. Efter man slutat bromsa tar det en till flera minuter att ladda bromsledningen och förrådsluftbehållarna.
- Om tåget bromsas till stillastående tar det därför tid att ladda innan man kan fortsätta, storleksordning en till flera minuter.
- Direct Release-broms innebär att föraren bara kan välja mellan att lossa bromsen helt eller inte alls.
- Risk för att bromsen utmattas, dvs. att bromsförmågan försvinner, vid upprepad bromsning med så korta mellanrum att laddningen ej hinner bli klar.
- För att minska längstryckkrafterna använder man förutom fiberblock, lägre utbromsning och mycket längre tillsättningsstid än i Europa vilket ger en längre bromssträcka.

### 2.3.3 Power Braking – ”gasa och bromsa samtidigt”

Powerbraking är en metod som lokförarna kan använda dels för att reducera längskrafterna då bromsning inleds dels för att förhindra att tåget stannar före den önskade stopp-punkten.

För att minska de stora längskrafterna i tåget när man börjar bromsa används förutom låg utbromsning ett förfarande som kallas *Power Braking* eller *Stretch Braking*. Det innebär att föraren både ”gasar och bromsar” samtidigt för att loket i tågets främre del skall sträcka ut tåget och reducera längstryckkrafterna. Detta medför nackdelar som längre bromssträcka, ökad energi- /bränsleförbrukning, ökat slitage och högre termisk belastning på hjul och bromsblock.

Powerbraking motsvarar i viss mån de europeiska metoderna med ”train mass restriction” och ”Langer Lok” (LL) där tågets främre del bromsas mindre kraftigt än det övriga tåget genom att loket och de 5 första vagnarna går med bromsläge ”G” och resten av tåget med bromsläge ”P”. Skillnaden mellan powerbraking och LL är att LL inte tillför ytterligare energi till tågets rörelse som måste bromsas bort och därmed inte bidrar till ökad energiförbrukning och slitage på det sätt powerbraking gör.

Power braking kan också användas för att med hjälp av lokets dragkraft förlänga bromssträckan i syfte att nå fram till avsedd stopp-punkt. ”Direct release”-egenskapen hos tågbramsen gör det svårt att med precision stoppa tåget vid en bestämd punkt, eftersom föraren måste vara återhållsam med att göra flera bromsnings- och lossningsmanövrer i tät följd. Att lossa bromsen kan vara olämpligt och rent av farligt beroende på banans lokala lutning, eftersom det finns risk för att man får för lite lufttryck kvar i förrådsluftbehållarna för en ny omedelbar bromsning. Om tåget stannar för tidigt vid infart på ett sidospår kan det föranleda att tågets bakre delar blockerar huvudspåret för andra tåg en lång stund i väntan på att bromssystemet blivit laddat så att man kan flytta tåget.

Har föraren bromsat för kraftigt återstår att välja mellan att:

- Lossa bromsen helt eller
- Acceptera att tåget stannar för tidigt eller
- Använda *power braking* för att dra fram tåget fastän tåget bromsas

Numera har föraren stor hjälp av den dynamiska bromsen (elektriska motståndsbromsen) i dieselloken. Den är snabbt reglerbar men fungerar inte vid låga hastigheter. Dessutom kan det finnas restriktioner mot att använda den dynamiska bromsen när tåget skall gå in genom växelkurvor till sidospår. Bromsning i det främre

loket (lokgruppen) kan då ge upphov till farliga tryckkrafter i tåget när det befinner sig i S-kurvorna vid spårbytet som kan leda till urspårning.

### 2.3.4 Bromsförfarande i långa lutningar med AAR P-broms

Det är inte bara när tåget skall stanna det är svårt för lokföraren att rätt hantera bromsen utan också när han skall bromsa till önskad hastighet i lutningar. Särskilt svårt är det i varierande lutningar eller omväxlande lutningar och stigningar.

Vid upprepad bromsning och lossning i långa och stora lutningar finns risk för att bromssystemet utmattas, dvs. att det blir för lågt tryck i förrådsluftbehållarna som beskrivits ovan. För att undvika det och underlätta nedfärden är amerikanska godsvagnar utrustade med en anordning som kallas *retainer* (se bilaga 2). Med ett handtag som kan ställas i olika lägen kan antingen ett bestämt tryck bibehållas i bromscylindern alternativt trycket mycket långsamt släppas ut ur cylindern då ledningstrycket höjs i tåget för att lossa bromsarna och ladda behållarna. Före nedfärden stannar man tåget och en besättningsman går längs tåget och ställer manuellt om retainerns handtag till önskad funktion på ett tillräckligt antal vagnar. Därefter lossas tågbrömsen och tåget körs nedför lutningen med en viss konstant eller sakta avtagande bromsverkan på de omställda vagnarna. I övriga vagnar kan bromsen styras på vanligt sätt för att variera bromsningen i tåget efter behov. Sedan tåget kommit ned stoppas tåget och samtliga omställda retainers återställs manuellt till normalläge. Detta öppnar möjligheter att köra ned tåget på ett säkert sätt, men är en tidskrävande åtgärd vid långa tåg.

Om ett tåg behöver bromsas oavbrutet under färden utför lutningar kan inte laddning av bromssystemet ske under tiden. Finns det då risk att bromssystemet blir utmattat, dvs. att det får för lågt lufttryck i behållarna, måste tåget stoppas i tid för att ladda upp bromssystemet, annars finns risk för "run away" dvs. att tåget skenar. Om tåget då stannat i en lutning där enbart lokbromsarna inte räcker för att parkeringsbromsa det stillastående tåget vidtar en omständlig procedur. Tågpersonal måste först gå längs tåget och manuellt dra ett tillräckligt antal skruvbromsar i vagnar. Därefter kan bromssystem laddas varvid tyvärr också tågbrömsen lossas helt. Därefter görs en tillräckligt kraftig bromsning med tågbrömsen för att tåget med säkerhet skall stå kvar, varefter tågpersonalen på nytt går längs tåget och lossa alla skruvbromsar. Nu kan tåget fortsätta. Men när man lossar tågbrömsen för att få igång tåget lossas den helt och blir omgående av med en del av den laddade luften. Rimligen måste man mycket snart göra en driftbromsning till lämplig nivå för att begränsa hastigheten eftersom tåget rullar lätt och snabbt ökar hastigheten vid utförslutningar. Även i detta fall kan användningen av *retainer* underlätta nedfärden.

Med den europeiska UIC-bromsen som kan lossas gradvis hade föraren bara behövt släppa lagom mycket på bromsen för att få igång tåget och för att reglera hastigheten.

Orsaken till att lokbromsarna kan vara otillräckliga för att parkeringsbromsa tåget, trots att lokens dragkraft räcker för att dra tåget, är att många järnvägar kan vara mycket osymmetriska när gäller lutningar. Det gäller inte minst heavy haul-järnvägar för skytteltrafik med kol eller malm Ofta ligger gruvor högt och transporterna med last går huvudsakligen utför mot hamnar medan de tomma tågen går uppför. Banan kan därför vara byggd med större utförslutningar och mindre stigningar i den riktning de lastade tågen går. Vid färd uppför stora stigningar kan också extra pålok (*pusher* eller *helper locomotives*) användas som lämnar tåget för att återgå vid krönet eller när påskjutning inte längre behövs.

Varierande lutningar med omväxlande korta stigningar är särskilt besvärliga eftersom föraren då behöver variera bromsningen med relativt korta mellanrum. Kan han inte det, på grund av risken för bromsutmattning, kan han försöka ställa in ett konstant bromsvärde så att tåget har tillräcklig fart och rörelseenergi för att nå över krönen utan att farten blir för hög vid foten av de långa lutningarna. Men detta kan medföra stora variationer i tågets hastighet, från största tillåtna till nära noll under nedfärden vilket sätter ned medelhastigheten.

Dessa icke önskade hastighetsvariationer längs banan kan påverka vilken rälsförhöjning som bör väljas i olika kurvor på sådana speciella banor som enbart har utpräglad tung systemtågstrafik med enhetliga tåg.

Att bromsa ett tåg under så komplicerade omständigheter kräver att föraren vid varje tidpunkt och bromsmanöver väger in en mängd förhållanden och omständigheter längs banan och i tåget på ett avstånd kring tåget motsvarande en halv timmas färd. Därför krävs att föraren har en mycket god linjekännedom och ett stort kunnande om tågets egenskaper och beteende under olika omständigheter för att tåget skall framföras på ett säkert och ändå snabbt sätt.

#### 2.3.4.1 Dynamisk lokbroms – viktigt komplement

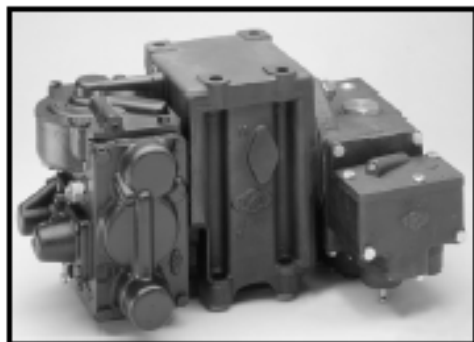
Tack vare den *dynamiska bromsen*, dvs. diesellokens *elektriska motståndsbroms* (se bilaga 2) har problemen med bromsning i lutningarna förenklats och användningen av retainers i hög grad minskat. Den snabbt reglerbara dynamiska bromsen används för att variera bromsverkan efter behovet medan tågbrömsen används inställd för relativt konstant bromsning anpassad efter det långsiktiga behovet i lutningen.

Genom att använda *Distributed Power* i långa tåg, dvs. fjärrstyrda lok som går fördelade i grupper med t.ex. en grupp i tågets främre del och en i tågslutet och eventuellt också med en eller flera grupper inne i tåget vinner man att längskrafterna i tåget minskas såväl när loken drar som när den dynamiska bromsningen används. Dynamisk bromsning enbart i tågets framända vid tunga tåg kan ge upphov till farliga längskrafter och urspårning. (Se 3.1, om erfarenheter vid LKAB/MTAB av elektrisk lokbromsning av tunga malmtåg).

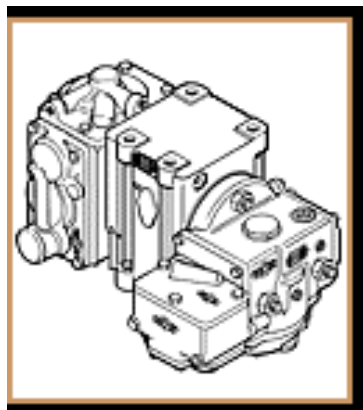
#### 2.3.5 Nödbromsventil och styrventil

I det amerikanska bromssystemet har vagnarna dels en styrventil (*distributor valve* eller *pneumatic service portion*), dels en separat nödbromsventil (*emergency valve* eller *pneumatic emergency portion*). Dessa ansluts på ett enkelt sätt till bromssystemets pneumatiska delar (bromsledning, behållare och bromscynder) genom den gemensamma fastsättningsanordningen *AAR Pipe Bracket*. Nödbromsventilen och styrventilen ansluts enkelt på motsatta sidor om *AAR Pipe Bracket* som är en fästplatta med erforderliga luftkanaler och hål för ventilerna.

Figureerna 1-7 och 1-8 nedan visar i mitten av figurerna fastsättningsanordningen (*AAR Pipe Bracket*). Mot dess ena sida är *New York Air Brake (NYAB)* styrventil typ DB-60 ansluten och mot den motsatta sidan är nödbromsventil är ansluten.



Figur 7 NYAB styrventil DB 60



Figur 8 NYAB styrventil DB 60

### 2.3.6 End Of Train- (EOT-) enhet

I USA skall alla godståg med högre hastighet än 30 miles/timme (48 km/h) vara utrustade med en ”EOT-device”, en anordning som sätts bak på sista vagnen och utgör den sista enheten i bromsledningen genom tåget.

Kravet gäller sedan 1/7 1997 för klass 1 järnvägarna och från 1/1 1998 för klass 2.

Anledningen till att den infördes var ett flertal allvarliga olyckor, en del med stora materiella skador och personskador och även med dödlig utgång, där bromsledningen efter bromsprovet stängts av genom sabotage så att tågdelarna bakom avbrottsstället blev obromsade.

Figur 9 visar EOT-anordningen vid Florida East Coast Railway (FEC). EOT är utrustad med en röd lykta, batteri för sin strömförsörjning, övervakningsanordning för kontroll av trycket i bromsledningen i tågslutet samt en extra fjärrstyrd utsläppsventil avsedd att användas enbart vid nödbromsning. EOT-enheten och loket står i dubbelriktad radioförbindelse med varandra. Vid tryckändring i ledningen sänder EOT ett meddelande med uppgift om detta till föraren. Föraren kan därigenom kontrollera att bromsledningen är intakt genom hela tåget. Den extra utsläppsventilen påskyndar nödbromsningen genom att luften släpps ut från bromsledningens båda ändar samt minskar längstryckkrafterna i tåget genom att tågets bakre del börjar bromsa samtidigt som den främre delen. Hela tåget kan nödbromsas även om bromsledningen stängs av eller blockeras, t ex av en ispropp, på något ( högst ett) ställe. Nödbromsningen styrs av en strömställare på loket. Den har ett beröringsskydd mot oavsiktlig utlösning av nödbromsen.

Den konventionella EOT-enhetens utsläppsventil används bara vid nödbromsning. Nya produkter finns nu där utsläppsventilen även används vid driftbromsning (se 4.5.1).



Figur 9 EOT-anordning på Florida East Coast Railway (FEC)

### 2.3.7 Varför kan långa godståg tillåtas i Nordamerika?

AAR konventionella P-broms tillåter mycket långa och tunga tåg med tågvikt på ca 25000 ton, ca 200 vagnar och tåglängd på 3000 m. Detta är möjligt på grund av följande förhållanden som skiljer sig från våra europeiska:

- användning av centralkoppel som medger drag- och tryckkrafter på upp till 1000 kN.
- endast användning av boggivagnar i tåg med mycket homogen sammansättning.
- korta avstånd från kopplingsplan till närmaste hjulpar.
- mycket lång tillsättningsstid för bromsen, upp till 60 s
- låg utbromsning ger mycket lägre bromsverkan
- bromsblock av fibermaterial med mycket lägre hastighetsberoende än de europeiska av gjutjärn.
- i regel enkelspårslinjer utan blandad trafik med persontåg, vilket medför mindre allvarliga konsekvenser av incidenter och därmed lägre krav på säkerhet liksom på sträckans tillgänglighet för snabb persontrafik.
- Direktlossningsprincipen och andra speciella anordningar som påskyndar lossningen av bromsen

Den låga utbromsningen i kombination med den icke hastighetsberoende friktionen har stor betydelse vid jämförelse med europeiska förhållanden. I Europa har erfarenheterna visat att då inbromsning påbörjas vid låg hastighet, 8 – 15 km/h, med för europeiska förhållanden långa och tunga tåg, är urspårningsrisken stor (se även rapporten Automatkoppel). Förklaringen är den starkt tilltagande friktionen vid låga hastigheter

för gjutjärnsblocken som gör att främre delen av tåget bromsas till stillastående medan bakre delar fortfarande är obromsade och har stor rörelseenergi som förorsakar stora längstryckkrafter och urspårning. Typ av koppel, buffertar eller centralkoppel samt stabiliserande länksystem inverkar också på urspårningsrisken<sup>31</sup>

Om hastigheten är högre då bromsningen inleds är urspårningsrisken lägre. Då har inte tågets främre del samma tendens att stoppa snabbt och abrupt.

AAR-bromsens snabba reaktion vid lossning är en förutsättning för att kunna köra långa godståg. Vid UIC-broms lossar bromsen i den takt förrådsluftbehållarna laddas i vagnarna. Även detta begränsar möjligheten att köra långa godståg i Europa.

---

<sup>31</sup> B Janke: *Entgleisungssicherheit von Güterwagen mit automatischer Mittelpufferkupplung*, Glasers Annalen 90 Jahrgang / Heft 10 Oktober 1966

## 3 Elektriska lokbromsar

Det finns traditionellt två typer av elektrisk bromsning, motståndsbromsning och regenerativ bromsning. Vid motståndsbromsning används motorerna som generatorer och den alstrade elektriska energin leds till elektriska motstånd där energin förbrukas. Motståndsbromsning kan användas på såväl elektriska som dieselektriska fordon.

Med regenerativ bromsning med återmatning till kontaktledningen eller strömskenan på elektriska lok och motorvagnar kan man återvinna rörelseenergi respektive potentiell energi vid färd utför lutningar. Regenerativ bromsning är mycket gynnsam vid t ex tunnelbanor och pendeltåg med korta stationsavstånd där man kan återvinna en stor del av den energi som används för att accelerera tåget. Regenerativ bromsning förutsätter att den elektriska infrastrukturen kan ta emot energin då tåget bromsas och fördela den till andra tåg eller elförbrukare alternativt att elförsörjningssystemet temporärt kan ackumulera energin för senare användning. I lokaltrafiksystem, med många tåg i samtidig trafik, kan stora svänghjulssystem användas för kortvarig energilagring i den mån inte andra tåg direkt kan använda bromsenergin. Regenerativ bromsning kan användas såväl vid likströmsdrift som vid växelströmsdrift, det senare är dock något mer komplicerat.

### 3.1 Elektrisk lokbromsning vid LKAB/MTAB

Dynamisk bromsning (motståndsbromsning) provades under en tid på lok littera Dm och Rm. Dm loken höll inte elektriskt. Däremot fungerade elbromsen bra på Rm loken men det orsakade urspårning. Man använde enbart motståndsbromsningen, utan att använda tågbrömsen för att ta ned hastigheten då man skulle gå in på stationsområden. I kombinationer med utförslutningar på 10 % inträffade urspårningar då tryckkrafterna i tågen blev för stora. Man slutade därför att använda elbromsen.<sup>32</sup>

### 3.2 Metoder för elektrisk lokbromsning

Möjligheten finns att i högre grad utnyttja elektrisk bromsning med lokomotiven om lokomotiven är fjärrstyrda och fördelade i tåget (det som på engelska kallas Distributed Power, DP). Därmed kan lokbromsningen utnyttjas betydligt bättre utan att tryckkrafterna i tåget blir så stora att risk för urspårning uppstår (se också 2.4.1 samt 2.7).

---

<sup>32</sup> Tord Karlsson, LKAB/MTAB, Privat Kommunikation

I Nordamerika m.fl. länder används den dynamiska bromsen (elektrisk motståndsbromsning) i stor utsträckning i dieselektriska lok i långa och tunga tåg. Den dynamiska bromsen är snabbt reglerbar och bromsenergin kyls bort från motstånden med kylfläktar. Därmed uppstår inte någon mekanisk förslitning annat än i motorernas växlar. Det vanliga bromssystemet avlastas vilket ger mindre slitage på hjul och bromsblock och mindre värmeutveckling och därmed mindre risk för sprickbildning.

Förutom elektrisk motståndsbromsning kan elektrisk regenerativ bromsning vara av intresse i ellok vid så kallad segmentiell samtidig bromsning eller körning av olika delar av mycket långa godståg med DP. Avsikten är att inom samma tåg använda bromsenergin från vissa segment för traktion i andra segment när man samtidigt bromsar och kör de olika tågdelarna (2.4.1).

Vid t ex gruvbanor med gruvorna på stor höjd och stora utförslutningar kan regenerativ bromsning vara intressant både för att avlasta tågbronsen och för att återvinna lägesenergin

Det finns två sätt att använda elbromsen i tunga godståg:

- I kombination med konventionell pneumatisk amerikansk tågbrons som reagerar långsamt används den senare för en viss konstant bromsning medan den snabbt reglerbara dynamiska bromsen används för att reglera bromsverkan efter det momentana behovet, se 2.3.4.1
- I kombination med ECP-bromsar som reagerar mycket snabbt används den dynamiska bromsen för maximal bromsverkan, medan ECP-bromsen regleras efter det momentana behovet. Därmed kan man i än högre grad minska slitage på och värmeutvecklingen i hjul och bromsblock, se 5.9.1, tabell 4.

### 3.3 Helt elektrisk bromsning

Med modern kraftelektronik har elbromsning med trefas asynkronmotorer kunnat utvecklas.

Ett japanskt förortståg har konstruerats för praktiskt taget ”ren” elektrisk bromsning ända ned till stillastående och med energiåtervinning<sup>33</sup>. Idén är att man i normala fall bara ska använda den elektriska bromsen. Friktionsbromsar skulle bara användas som parkeringsbroms och för nödbromsning. Tåget, Tsukuba Express, skall trafikera en 58 km lång smalspårig (spårvidd 1067 mm) linje till Tsukuba Science City i trakten av Tokyo. Banan är under byggnad och beräknas bli färdig och kunna öppnas hösten 2005. Största hastighet är 130 km/h.

Två olika elsystem kommer att användas. Den nordligaste delen med 18 km längd skall elektrifieras med 20 kV 50 Hz för att inte störa internationella observationer av jordmagnetismen. Den södra delen, 40 km lång, elektrifieras med 1,5 kV likspänning. Den delen matas från 8 matningsstationer på 4,5 MW vardera, belägna med 3,1 till 6,8 km mellanrum samt från en matningsstation på 3 MW. Det kan vara problem med att leda den återmatade energin till andra förbrukningsställen och med att för hög spänning fås på kontaktledningen vilket gör att den uttagbara generativa bromskraften skulle bli lägre än den vid resistiv bromsning.

---

<sup>33</sup> Saturo Sone: *Tsukuba Express close to ultimate electric braking system*, Railway Gazette International June 2003, sid 391-393



Tack vare teknikutvecklingen inom kraftelektroniken kan elbromsningen styras mycket noggrant. Det går inte lika bra med friktionsbromsar eftersom friktionen varierar med hastigheten och den ytan bromsen verkar på. Det gör att det vid blandbroms är svårt att synkronisera styrningen av den pneumatiska bromsen och elbromsen, vilket leder till ryck i tåget. Elbromsning fungerar inte i äldre system vid låga hastigheter. Här har man utvecklat elektriska bromsar som praktiskt taget fungerar till stillastående. Därmed kommer man ifrån användning av friktionsbromsar och blandbroms. Det är en teknik som redan används vid elektriska hissar. Ett problem har varit den befintliga vinkelpulsgivaren på japanska fordon med bara 60 pulser per hjulvarv som gav för liten upplösning vid hastighetsmätningen i låg hastighet ned till stillastående. Det kunde lösas på två sätt, antingen med extrapolering av hastigheten från pulsgivaren och även med ett givarlöst system med en referensmodell där man utnyttjar traktionsmotorns inspänning och strömstyrka.

## 4 Inventering av tänkbara bromssystem

För att komma ifrån de nackdelar och svagheter det konventionella bromssystemet har finns två huvudalternativ baserade på konventionell friktionsbroms och ett tredje helt annorlunda system, med rent elektriskt bromsning på dragfordonen :

1. Den konventionella pneumatiska bromsen behålls men förbättras med ett snabbt styrsystem. Styrsystemet behöver utnyttja elektriska styrsignaler för att få hög signalhastighet. Om styrsystemet är datorstyrt kan det inrymma automatisk funktionsövervakning av systemet för att uppnå erforderlig säkerhet. Dator- och kommunikationssystemet kan utgöra en plattform för det intelligenta godståget
2. Ett helt nytt bromssystem utvecklas som bygger på helt annan teknik, t ex ett styrsystem av typ *control-by-wire* som t. ex. påverkar elektromekaniska bromsar
3. Rent elektrisk bromsning på dragfordonen, av typ motståndsbroms eller regenerativ broms på ellok för energiåtervinning

Det tredje alternativet passar för motorvagnståg med hög andel drivna axlar i tåget och med täta avstånd mellan stationerna där man kan återvinna rörelseenergin. Nu finns ny teknik där elbromsen kan användas även vid låg hastighet, ned till stillastående (3.3). För godståg kan elbromsning vara mycket fördelaktig som ett kompletterande bromssystem. För att bemästra längstryckkrafterna i längre tåg torde det förutsätta att man har fördelad, fjärrstyrd dragkraft (Distributed Power, DP).

Minst ett ytterligare bromssystem erfordras för att få god bromsförmåga i tåget samt som reservsystem, nödbroms och som parkeringsbroms. Man måste beakta att man av tvingande skäl kan behöva lämna hela eller delar av delar av godståget kvar på linjen. Linjens lutning ställer krav på bromstalet för de kvarlämnade delarna. Det ställer andra krav än parkeringsbromsning på en horisontell bangård.

### 4.1 Brake-by-wire med el-mekanisk broms<sup>34</sup>

För alternativet 2 talar att ny teknik med *control-by-wire* med intelligenta inbyggda system nu införs inom områden med mycket höga krav på säkerhet t ex inom både civil- och militärflyg (*fly-by-wire*) t ex vid JAS 39 Gripen, Boeing 777 och Airbus. Säkerheten

---

<sup>34</sup> Johansson R, Johannesen P, Forsberg K, Sivencrona H, Torin J: *On communication Requirements for Control-by-Wire Applications*, PROCEEDINGS of the 21<sup>st</sup> INTERNATIONAL SYSTEM SAFETY CONFERENCE-2003

kräver redundanta enheter vilket medför kostnader. Vid dessa applikationer där det gäller att styra roder används i regel hydrauliska ställdon och inte elektromekaniska. Anledningen uppges vara att om fel uppstår på en enhet skall rodret inte låsas i utstyrt läge utan släppas fritt så att det kan ställa in sig i efter luftströmmen för att vålla minsta störning. Dessa lösningar är mycket dyra och kan därför inte komma i fråga för kostnadskänsliga järnvägsfordon för godstransporter.

Men tekniken börjar bli intressant inom andra områden som lastvagnar, skogsmaskiner etc. Inom bilindustrin finns ett intresse för ”steer-by-wire” teknik. När tekniken kommer till användning inom bil- och fordonsindustrin med stora volymer av tillämpningar och komponenter som bär utvecklingskostnaderna och sänker produktionskostnaderna kan andra områden med mindre volymer som flyg, sjöfart och järnvägar med små volymer dra nytta av detta.

En form av ”brake-by-wire” förekommer ju i ECP-bromsarna. Men där används tryckluft och där är huvuddelen av det pneumatiska bromssystemet samt den verkställande delen kvar. Där fungerar den pneumatiska bromsen som reservfunktion och som nödbroms. I renodlad ”brake-by-wire” med t ex elektromekaniska bromsar med inbyggd intelligens saknas den pneumatiska nöd- och reservbromsfunktionen, dvs den förmåga som behövs för att kunna köra tåget vidare i annan mod då ett elektriskt fel uppstått respektive för att godsvagnar ska kunna fungera i konventionellt bromsade tåg. Detta måste lösas på annat sätt. Säkerheten kräver hög redundans.

Brake-by-wire styrning kombinerad med elektromekaniska (EM) bromsar med inbyggd intelligens (embedded technology) kan kanske i framtiden erbjuda intressanta lösningar.

På Chalmers bedrivs forskning inom området datorstyrning av bromsar till godståg och om hur bromssystem skall kunna fås att uppfylla extremt högt ställda krav på säkerhet men till kostnader som är realistiska för användning på godståg.<sup>35</sup> Idéerna bygger på användande av *naturlig redundans (application specific fault tolerance)*.

Att för all framtid låsa sig vid pneumatiska lösningar och inte dra nytta av utvecklingen inom elektronik, elektroteknik och el-mekanik som kan komma att erbjuda intelligenta inbyggda system med billiga, lätta, små, underhållsvänliga, driftsäkra och miljövänliga lösningar förefaller inte så klokt<sup>36</sup>. Ett exempel på en existerande kompakt mikrodatorstyrd enhet är den EM-broms från SAB WABCO, typ EBC, som visas i avsnitt 4.6.

Det är emellertid enklare att införa sådana system på spårvagnar, motorvagnar och liknande rälsfordon som tillverkas i mindre serie och som inte behöver vara kompatibla med andra system. När brake-by-wire testats och tekniken är säker, tillräckligt utvecklad och konkurrenskraftig kan man bedöma om tekniken är lämplig. Den borde i så fall i första hand kunna införas på speciella godståg i avgränsad verksamhet, där tågen inte behöver vara kompatibla med övriga godståg, t ex snabba motorvagnsgodståg för paket och postbefordran.

---

<sup>35</sup> Roger Johansson: *Dependability characteristics and safety criteria for an embedded distributed brake control system in railway freight trains*, Report no.8, August 2001, Data och elektronik, Chalmers Lindholmen

<sup>36</sup> Roger Johansson: *Privat kommunikation* Data och elektronik, Chalmers Lindholmen

## 4.2 Bromsignal via ljudvågor (Sonar Pulses)

Genom att sända bromssignalen i form av ljudvågor inne i bromsledningen, i stället för som tryckförändringar genom luftutsläpp, skulle man kunna spara viss luftmängd, den i ledningen, och därmed minska behovet av laddning något. Man kan möjligen höja signalens utbredningshastighet något eftersom luften inte behöver släppas ut vid loket och därmed strömma längs ledningen. Men hastighetshöjningen blir mycket begränsad eftersom ljudhastigheten fortfarande är den avgörande begränsningen. Istället tillkommer den tid som behövs för att sända erforderligt antal ljudpulser för att överföra informationen i det seriella akustiska bromsmeddelandet.

Om lufttrycket i ledningen skulle kunna bibehållas på nominell nivå under den tid bromsningen pågår så kan ledningen kanske utnyttjas för att mata luft (ladda) under tiden i ett sådant system.

Vid Chalmers Tekniska Högskola har man inom *CHARMEC* i ett forskningsprojektet *SD2: Sonar pulses for braking control - a prestudy*, gjort undersökningar samt försök vid SAB-WABCO:s bromstestrigger i Piossasco i Italien med att använda ljudpulser för styrning av bromsar. Resultaten tyder på att man kan överföra signaler med en bandbredd på ca 5-10 Hz. Tyvärr är det inte möjligt samtidigt som man släpper ut luft ur bromsledningen eller när luft strömmar i bromsledningen pga. det akustiska brus som då uppstår. Ljudvågorna alstras av högtalarelement och tas emot av mikrofoner i bromsledningen. Hittills har bara förstudier gjorts för att undersöka möjligheterna att på detta sätt överföra information.

Den begränsade bandbredden och utbredningshastigheten gör att denna metod knappast kan bidra i nämnvärd grad till en effektivare och bättre godstågsbroms.

## 4.3 Pneumatisk broms med extra matarledning

Genom att införa en särskild matarledning kan förrådsluftbehållarna vid bromssystem av UIC-typ laddas hela tiden längs tåget. Vid UIC-broms lossar bromsen gradvis efterhand som trycket i förrådsluftbehållarna längs tåget stiger och det finns ingen risk att bromsen utmattas. Den extra ledningen skulle kunna påskynda lossningen eftersom behållarna kontinuerligt kan laddas så snart luft förbrukas.

Problemen med den långsamma signalutbredningen och med längstryckkrafterna blir inte avhjälpda.

## 4.4 Elektro-pneumatisk (EP) broms

EP-broms som används i moderna resandetåg eliminerar den fördröjning som orsakas av utbredningstiden och att tryckgradienten avtar utmed bromsledningen. Därmed uppnår man snabbare bromsansättning och reducerad bromssträcka samt minskade längstryckkrafter i tåget. Den medger också en snabbare lossning av bromsen.

Förarens bromsventil, vagnarnas styrventiler och nödbromsventiler fungerar som vid rent pneumatisk broms. Men den konventionella tryckluftbromsen är kompletterad med en elektriskt styrd broms- och lossningsventil på varje fordon. Förarens bromshandtag påverkar de elektromagnetiska ventilerna på vagnarnas bromssystem varför dessa

påverkas samtidigt längs hela tåget. Bromsventilerna sänker huvudledningstrycket lokalt på varje vagn vid bromsning tills begärt tryck erhålles. Lossningsventilen höjer huvudledningstrycket vid lossning genom att lokalt på varje vagn mata in luft i huvudledningen och man får ett snabbt bromssystem och god precision i bromsning och lossning.

Förutom huvudledningen med normalt 5 bar (500kPa) tryck har man ytterligare en matarledning (högtrycksledning) på samma sätt som beskrivits tidigare med 5 till 10 bars (500 - 1000 kPa) tryck. Den används för att ladda förrådsluftbehållaren samt att försörja olika andra anordningar i vagnarna, t ex dörrstängning. Observera att de elektromagnetiska ventilerna på det beskrivna systemet styr huvudledningens tryck som sedan på konventionellt sätt påverkar styrventilen. Systemet har det konventionella pneumatiska bromssystemet som redundant grund. Det har egentligen inte ”elektronisk hastighet” fullt ut eftersom man inte direkt påverkar styrventilen elektriskt. Det senare torde ha liten betydelse eftersom avståndet mellan de elektromagnetiska ventilerna och styrventilerna är små i sammanhanget och den ”pneumatiska tidsfördröjningen” är försumbar jämfört med cylinderns fyllnings- respektive tömningstid.

Genom att det pneumatiska systemet fortfarande utgör grunden i systemet har det i sig en hög säkerhet vid elektriskt fel men med långsammare signalöverföring av styrsignalerna. Bromsprestanda blir då lägre med längre bromssträcka och högre tryckkrafter inom tåget.

Det finns förutom den analoga EP-bromsen andra digitala varianter<sup>37</sup>.

Det finns två system olika beträffande kabel för överföring av styrsignalen:

- Den så kallade DB EP-broms som används på DB personvagnar och använder högtalarkabeln för att överföra styrsignalerna. Strömförsörjningen till elektromagnetventilerna kommer från vagnens egen kraftförsörjning. Detta EP-system är inte övervakat under körning och därför inte ett säkerhetsrelevant bromssystem.
- UIC EP-broms (enligt UIC norm 541-5) som använder en speciell kabel med 9 ledare för olika ändamål. Den har olika ledare som överför signaler för bromsning, lossning och nödbromsning samt erforderlig strömförsörjning för ventilerna. Dessutom har den två ledare avsedda för en bussledning. Detta system är permanent övervakat och därför ett säkerhetsrelevant system

Med säkerhetsrelevant bromssystem menas att funktionen hela tiden är övervakad och att föraren larmas och säkerhetsåtgärder vidtas omgående då ett fel uppstår som sätter ned bromsförmågan. I ett icke säkerhetsrelevant system vet föraren inte om man har tillgång till de förbättrade bromsprestanda eller om EP-funktionen fallit bort p g a något fel och han i så fall bara har det konventionella pneumatiska systemet bromsprestanda kvar.

Den ytterligare luftledningen (matarledningen) samt det speciella kabelsystemet på alla vagnar som ingår i ett tågsätt med EP-broms är kostnadsfördyrande och en komplikation när vagnar skall koppas till och från tåget.

EP bromsen ger inte de möjligheter till automatisering, styrning och övervakning av andra funktioner än bromsen som ett ECP-bromssystem med självkonfigurerande datornät med distribuerad datorkraft. Den är därför inte så väl lämpad för långa godståg med många vagnar och varierande tågsammansättning.

---

<sup>37</sup> Evert Andersson, Mats Berg: *Järnvägssystem och spårfordon*, KTH Järnvägsteknik

För användning i snabba post- och expressgodståg som liknar resandetåg till sin karaktär och teknik och som har en relativt permanent tågsammansättning kan EP-broms vara ett lämpligt alternativ.

## 4.5 Utsläppsventiler i huvudledningen

En väsentlig förbättring vad gäller bromssignalens utbredning längs huvudledningen fås genom att införa ytterligare utsläppsventiler i huvudledningen som fjärrstyrs t ex via radiosignaler. Man bör införa åtminstone en extra utsläppsventil i bakre delen av tåget. Trycksänkningen vid bromsning inleds och utbreder sig därmed samtidigt från tågets bakre och främre del. Därmed förkortas bromssträckan och minskas längstryckkrafterna i tåget. Det finns olika alternativ för inbyggnaden och styrningen av den extra utsläppsventilen.

Denna utsläppsventil skall inte förväxlas med den snabb-bromsventil som förekommer inom UIC. Den senare är en annan typ av anordning som utlöses genom påverkan på vanligt sätt via trycket i ledningen. Den har till uppgift att öka genomslagshastigheten (tryckgradienten) på trycksänkningen i huvudledningen (se 2.2.4).

### 4.5.1 Extra utsläppsventil i EOT-enheten

Som beskrivits i avsnitt 2.3.6 finns det en extra radiostyrd utsläppsventil i den vanliga EOT-enheten. Men den är enbart avsedd att användas för nödbromsning.

Wabtec har utvecklat två varianter av EOT-enheter där utsläppsventilen även används vid driftbromsning<sup>38</sup>.

Det är följande två produkter:

- *TrainLink-ES*, en radiostyrd EOT
- *TrainLink-ECP*, där styrning av EOT och strömförsörjning normalt sker genom den Train Line kabel som används vid kabelbaserad ECP-broms, men den kan även användas med radiostyrning

*TrainLink-ES* är avsedd att användas i konventionella tåg utan ECP-kabel. Detta är ett snabbt, enkelt och billigt sätt att förbättra den konventionella tryckluftbromsen för långa tåg så att förhållandena vad gäller prestanda blir ungefär som för ett tåg med halva längden. Simuleringar visar att *TrainLink-ES* ger följande förbättringar:

- 30 till 40 % lägre tryckkrafter
- 10 till 20 % lägre dragkrafter
- 20 % kortare bromssträcka vid full driftbromsning

Nackdelen med denna lösning är att den är beroende av radioförbindelsen mellan lok och EOT. I områden med ogynnsamma förhållanden för radioöverföringen kan detta förbättras med repeterstationer längs banan. Trots det kan intermittenta radioavbrott

---

<sup>38</sup> Robert Kull, Wabtec: New Train Braking Systems for Train Handling Improvement, Paper presented to: Association of American Railroads 2000 Damaged Prevention & Freight Claim Annual Session—Portland Oregon July 20, 2000

förekomma och hindra utsläppsfunktionen då bromsning inleds. Därför är det inte ett säkerhetsrelevant system och de förbättrade prestanda kan därför inte användas för att höja tåghastigheten vid ett givet försignalavstånd eller för att förkorta försignalavståndet vid bibehållen tåghastighet.

*TrainLink-ECP* är avsedd att vara ett alternativt sätt att förbättra bromsen och att förbereda övergången till kabelbaserad ECP-broms. Som ett första steg i övergången kan man börjar med att bara införa ECP-bromsens kabelsystem (Train Line kabeln) på vagnparken och använda den för signalöverföringen och strömförsörjningen till EOT-enheten. Det är alltså ett sätt att gradvis införa ECP-tekniken, och fördela ut investeringskostnaden på flera år, men ända snabbt dra nytta av en förbättrad bromsteknik. När vagnparken sedan är utrustad med Trainline-kabeln har man ett gynnsamt läge för den fortsatta omställningen till ECP-broms

Genom den kontinuerliga funktionsövervakningen av signalförbindelsen och EOT-utrustningen är detta system säkerhetsrelevant, dvs. systemtekniskt kan man förlita sig på att detta fungerar så säkert att man kan räkna med den kortare bromssträcka gäller – tills systemet larmat om fel uppstått.

Genom train line kabeln kabeln strömförsörjs EOT-enheten och dess batteri underhållsladdas. Övriga EOT-typer har bara utbytbara batterier och ingen annan strömförsörjning eller laddning när de är placerade på sista vagnen i tåget.

*TrainLink-ECP* har dessutom kvar radiokommunikationsutrustningen för att kunna fungera i pneumatiskt bromsade tåg och för en ny applikation *HelperLink* som innebär att bromsen på pålok (påskjutande lok) fjärrstyres från tåget. Till skillnad från våra förhållanden där påloken inte är kopplade är de i USA kopplade till tåget eftersom man använder automatiskt centralkoppel som automatiskt kopplas ihop då två koppel förs samman. *HelperLink* beskrivs i rapporten *Fördelad dragkraft*.

## 4.5.2 Extra utsläppsventil på fjärrstyrt lok

Den extra utsläppsventilen i bromsledningen kan alternativt finnas på ett fjärrstyrt lok längst bak i tåget och eventuellt på ytterligare lok på andra platser i tåget. Denna metod har särskilt provats i USA och Australien (BHP Iron Ore Railroad) där man använder *fördelad dragkraft*, på engelska benämnt *DP (Distributed Power)*, dvs. dragkraften fördelad i tåget. En grupp av lok går i täten, en grupp brukar gå sist i tåget och ibland går en mitt i tåget. Det främsta loket i varje grupp radiostyrs från det främsta loket i den främre gruppen. Övriga lok inom varje grupp styrs via en multippelkopplingskabel från det främsta inom gruppen. Detta beskrivs i rapporten *Fördelad dragkraft*.

Europeiska försök vid SBB och DB där man använt fördelad dragkraft med radiostyrsystemet *Locotrol* från GE Harris har visat att utsläppsventilens läge i tåget är avgörande för resultatet. I främre delen fungerar den ungefär som UIC snabbbromsventil och kan öka längstryckkrafterna, medan placerad bakre delen av tåget får man minskade längstryckkrafter<sup>39</sup>.

Här finns också problematiken med radiokommunikationen och en säkerhetsrelevant funktion. Att radiostyrd DP är vanlig inom AAR behöver inte betyda att den kan godtas inom UIC eftersom helt andra förhållanden gäller med både persontrafik och godstrafik

---

<sup>39</sup> Frank Minde, Stefan Witte: *FEBIS: Kommunikationsbaserade elektronisk gesteurte bromse*, EisenbahnTechnisches Rundschau, Mai 2001

på samma banor ofta med dubbelspår. En incident eller mindre olycka inom godstrafiken kan därför få svara följder för persontrafiken som löper nära intill.

Det finns numera DP (fördelad dragkraft med fjärrstyrda lok) styrning som är integrerad med ECP-bromssystemet på lokomotiven och styrs via train line-kabeln. Därmed kan man få en övervakad och säkerhetsrelevant styrning av en extra utsläppsventil i ett bakre lok i tåget.

Spoornet har använt sådan styrning av bakre lok i sitt försökståg med ECP-broms på Spoornets linje för koltransporter, Ermelo – Richards Bay. Där har man vid jämförande försök uppmätt följande typiska bromssträckor för att från 45 km/h (28 miles/h) bromsa tåget till stillastående i en utförslutning på 15,2 ‰<sup>40</sup>:

- Konventionell pneumatisk broms 1402 m (4600 fot) 100 %
- Konventionell broms plus DP med trainline kabel 914 m (3000 fot) 65 %
- Med ECP-broms 457 m (1500 fot) 32 %

Med DP och extra utsläppsventiler får man i detta fall alltså ca 2/3 så lång bromssträcka som med enbart konventionell broms. Med ECP-broms får man ytterligare en halvering till ca 1/3 av den ursprungliga bromssträckan. Det skall påpekas att det var mycket svårt att göra dessa bromsjämförelser i utförslut eftersom man med den konventionella AAR-bromsen inte lyckades så bra med att ställa in den önskade utgångshastigheten vid det ställe bromsningen skulle börja. Hastigheten varierade mellan 20 och 30 miles/timma.

## 4.6 Elektromekaniskt (EM) bromssystem

Vid *elektromekanisk (EM) broms* har man övergett den pneumatiska bromsen för att i stället använda en helt elektrisk broms. Då behövs en ackumulator, som i stället för förrådsluftbehållaren vid den pneumatiska bromsen, kan lagra tillräcklig energi för nödbromsning vid avbrott på ledningen och elenergiförsörjningen.

Ett sätt vore att använda elektriska batterier. Det är tveksamt om funktionssäkerheten, speciellt långtidssäkerheten i godståg, för batteriet tillsammans med övriga elektriska utrustning är tillräcklig för broms och nödbromsfunktionen. Det räcker inte med att batteriet har spänning, det skall vara tillräckligt laddat i varje ögonblick. Det finns andra lösningar på hur erforderlig energi kan lagras vid elbroms.

SAB WABCO har utvecklat ett kompakt elektromekaniskt (EM) bromssystem<sup>41</sup> för skivbromsar, *EBC, Electro Mechanical Brake System Actuator Type EBC*<sup>42</sup>, se figur 10. Det är i första hand avsett för motorvagnståg, tunnelbanetåg, spårvagnar och liknande fordon. Det kan användas både som färdbröms och som parkeringsbroms. Systemet har en fjäder som laddas upp av en elmotor. Fjäderkraften används för att via en koppling och skruv ansätta bromsen. Ytterligare en motor sköter kopplingen för att ansätta eller lossa bromsen. Spelet mellan bromsbelägg och bromsskiva kontrolleras via en lägesgivare.

<sup>40</sup> Dave van der Meulen: "Evaluation of Wireline ECP Braking and DP on the Ermelo-Richards Bay Coal Export Line", Presented at 92<sup>nd</sup> Annual Convention, Air brake Association, Chicago, September 2000

<sup>41</sup> Ny Teknik 1992:48: *Tåget bromsar med datorstyrd fjäder*

<sup>42</sup> SAB-WABCO Broschyr: *Electro Mechanical Brake System Actuator Type EBC*

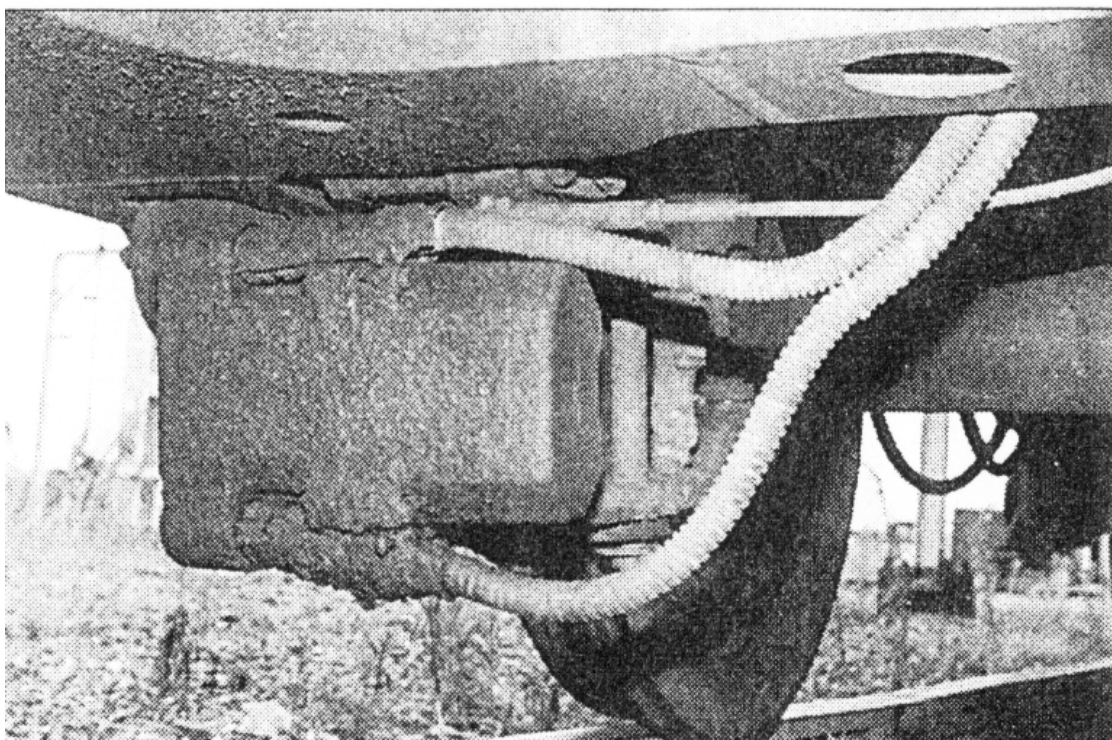


Ett mikrodatorbaserat styrsystem ingår i enheten för att styra och övervaka donet. För att kontrollera funktionen finns ett självdiagnostiskt system och informationen sänds vidare till en central dator och föraren.

Som diskuterats i 4.1 skulle ett sådant system kanske i framtiden kunna vara intressant i ett "brake-by-wire" system om utvecklingen leder fram till en säker teknik med ett lågt pris.

Att införa detta och liknande bromssystem på nya motorvagnståg, spårvagnar och dylikt är flera skäl betydligt enklare än att införa det på godsvagnar och godståg. Dessa fordonstyper behöver inte vara kompatibla med äldre fordon av eget eller annat fabrikat och inte heller med andra nya konstruktioner på andra banor eller trafiksystem och kanske inte ens inom samma trafiksystem. Sålunda kan besluten fattas av köparen och säljaren förutsatt att fordonen uppfyller erforderliga säkerhetskrav.

Ett sådant system blir svårt att införa på konventionella godståg i allmän trafik. Där måste rimligen större delen av den omfattande befintliga vagnparken byggas om för att under en lång övergångsperiod kunna fungera såväl i tåg med det konventionella som i tåg med det nya bromssystemet. Däremot bör det lättare kunna införas inom nya snabba godståg av motorvagnstyp som inte behöver vara interoperabla med den äldre rullande materielen.



Figur 10 SAB-WABCO elektromekaniska broms EBC

En möjlighet vore en elektropneumatisk broms (ej att förväxla med den tidigare beskrivna EP bromsen) med egen elektriskt driven kompressor ombord på varje fordon för att lagra energin i en tryckluftbehållare. Nödbromsfunktionen måste då styras elektriskt som vid ECP-bromsens elektroniska nödbromsfunktioner. Dvs de kan styras både från det ledande loket och lokalt av datorsystemen på vagnarna och övriga lok om signalavbrott uppstår i tåget. Därmed skulle man slippa att ha en tryckluftledning genom tåget men då går man miste om den säkerhet och förmåga att fungera som konventionell

pneumatisk broms som den vanliga EP-bromsen har som beskrivits ovan. Strömförsörjningsbehovet i ett långt tåg blir också större vilket påverkar dimensioneringen och utförandet av kabelsystemet längs tåget.

## 4.7 EPH, EH och fjäderbromsar

*Elektropneumatiskhydraulisk (EPH)* broms kan antingen ha en tryckluftledning genom tåget eller ha egna elektriskt drivna kompressorer i varje fordon och en tryckluft-behållare som energiackumulator.

*Elektrohydraulisk (EH)* broms kan ha ackumulerad energi, t ex genom elektriskt batteri eller genom hydraulisk ackumulator i form av tryckbehållare med gas eller fjäder som medium. Det har likheter med föregående alternativ men i stället för elektriskt driven kompressor används en elektriskt driven hydraulpump som laddar upp den hydrauliska trycktanken.

*Fjäderbroms* används ibland på gruvlok och andra enklare fordon. Den kan vara avsedd som enbart parkeringsbroms och ibland som både parkerings och färdbroms. Bromsen ansätts med fjäderkraften och lossas med annan motriktad kraft, t ex med hydraulkraft, tryckluft eller elektromagnetiskt. På detta sätt fås en viss form av enkel, relativt pålitlig och självverkande broms med lagrad energi för ansättningen. På gruvlok kan systemet vara mycket enkelt och bara ha två lägen, full broms och lossad broms.

Den *Elektromekaniska (EM)* bromsen i 4.6 använder en fjäder för att lagra energi.

Samtliga dessa system har olika nackdelar. De gör godsvagnarna komplicerade och utgör helt nya system som inte tar till vara värdena i det existerande pneumatiska bromssystemet och erbjuder inte möjligheten att fungera som pneumatisk broms vilket försvårar samexistensen mellan det nya och det hittillsvarande bromssystemet.

Dessa system har inte heller i sig själva någon speciellt potential för vidare utveckling av tilläggstjänster för annan övervakning och automatisering, t ex det som benämns ”intelligenta godståg”. Sådan potential kan fås av ett i tåget fördelat datorsystem med tillhörande kommunikationssystem för styrning av bromsen.

## 4.8 Datorstyrd P broms med automatiska funktioner

Den konventionella bromsens utvecklingsmöjligheter är som visats begränsade, men bortsett från styrningen av bromsen, är det en robust och beprövad lösning med en mängd bra egenskaper som fortsättningsvis bör tas till vara.

Omställningen till ett nytt bromssystem är speciell när det gäller godståg eftersom det rör sig om en mycket stor och internationell vagnpark varav rimligen en mycket stor del skall konverteras. Det kommer att ta lång tid och kosta mycket pengar i ombyggnad. Under tiden behöver lok och vagnar utrustade med det nya bromssystemet kunna gå i tåg med konventionellt bromsade vagnar.

Genom att införa ett snabbt överlagrat datorbaserat styrsystem med förmåga till övervakning, diagnos och automatisering samt behåller större delen av det pneumatiska systemet, t ex bromsledning och verkställande organ, får man ett nytt effektivt system baserat på ett väl beprövat bromssystem samtidigt som man sparar kostnader vid konverteringen av den befintliga vagnparken.

Ett ”öppet distribuerat datornät” med datorkraft i lok och vagnar behövs. Det skall automatiskt konfigurera sig efter tågets sammansättning vid tågbildningen. Informationssystemet kan utöver att styra bromsen utnyttjas för effektivisering och höjd säkerhet. Vid tågbildning och tågombildning ska det automatiskt ta in och bearbeta nödvändiga och önskade uppgifter om tåget, göra bromsprov och presentera resultatet. Under tågets gång ska det övervaka bromsen och dess funktion. Datorsystemet kan samtidigt utformas för att övervaka vagnarna och gods och vid behov kunna fjärrstyra andra funktioner t ex av- och tillkoppling av vagnar, fjärrstyrning av andra lok i tåget osv.

Databussen genom tåget måste vara mycket enkel, robust och flexibel för att tåla miljön och hanteringen. Den stora mängden vagnar och förhållandet att tågen ideligen delas och kopplas ihop vid rangeringen gör att funktionssäkerheten hos varje enskild enhet i kommunikationssystemet längs tåget måste vara hög för att hela systemet skall kunna fungera. Ett avbrott eller ännu värre en svårlokaliserad glappkontakt med intermittenta fel i ett lång godståg kan ställa till stora problem, förseningar och kostnader.

Dessa visioner leder fram till det *intelligenta godståget* där datorsystemet inte bara används för att styra, övervaka och automatisera den pneumatiska bromsen utan också kan användas för en mängd andra funktioner.

I USA där man först implementerade dessa idéer har man i första hand haft bromsfunktionen i åtanke och betraktat övriga funktioner som tillägg som kan tillkomma efter hand. Där kallas det nya bromssystemet *Electronically Controlled Pneumatic brake*, vanligen förkortat till *ECP brake*.

I Europa har man redan från början fäst stor vikt vid övriga funktioner som kan effektivisera den allmänna godstrafiken med vagnslaster och kombitåg. Följande tre projekt inom området behandlas:

- EBAS (”elektronische/elektrische Brems-Abfrage und -steuerung”)
- FEBIS/EFIS (Freight Electronic Brake and Information System respektive European Freight Intelligent System)
- INTELFRET (INTELLIGENT FREIGHT TRAIN)

De amerikanska ECP-bromssystemen samt EBAS och FEBIS/EFIS beskrivs i denna rapport. INTELFRET behandlas i rapporten *Intelligenta informationssystem för godstransporter på järnväg*.

## 5 Amerikanska ECP-bromsar

### 5.1 Bakgrund och historik

I USA började man inse att modern informationsteknik behövdes för att kunna vidareutveckla den pneumatiska bromsen. Detta ledde till att ett för AAR, järnvägsbolagen och tillverkare gemensamt projekt startades 1991 för att utveckla ett elektroniskt datorbaserat bromssystem kallat *ECP-broms*, *Electronically Controlled Pneumatic Brake*. Utvecklingen av ECP-bromsar har skett parallellt vid ett antal konkurrerande företag med egna konstruktionslösningar. AAR tog 1993 initiativ för att börja utarbeta normer för ECP-bromsar tillsammans med representanter för olika järnvägsförvaltningar och leverantörer av järnvägsmateriel. Normerna skall säkerställa att ECP-system från olika tillverkare kan fungera tillsammans och tillåta gränsöverskridande trafik i Nordamerika.

Två helt skilda och icke kompatibla ECP-lösningar har utvecklats parallellt, en kabelbaserad som utnyttjar en ledning som är gemensam för kommunikationen och strömförsörjningen, *Cable-Based ECP Brake (CECP)* och en med trådlös kommunikation via radio i varje fordon *Radio-Based ECP Brake (RECP)*. Dessa två konkurrerande varianter skiljer sig bl a beträffande signalteknik och strömförsörjning. De två system är alltså inte kompatibla och kan inte fungera tillsammans i ECP-bromsade tåg.

Inom USA har järnvägsbolagen hittills intresserat sig för den kabelbaserade lösningen och alla tillämpade försök i kommersiell drift i USA har skett med den, medan den radiobaserade har provats på en järnväg i Australien.

*BNSF (Burlington Northern Santa Fee)* var 1994 första järnväg som provade en prototyp. De hade under 1998 14 olika tåg i kommersiell försökstrafik utrustade med ECP-broms. Det var systemtåg för kol, taconite, säd och ett intermodalt tåg. Det intermodala tåget används inte längre med ECP-broms, ECP-bromsen har tagits bort och vagnarna har skingrats. Ytterligare ett antal järnvägar har varit och en utrustat ett systemtåg med ECP-broms för tillämpade försök i kommersiell trafik.

Utvecklingen och fastställandet av normer och specifikationer för den kabelbaserade ECP-bromsen blev fördröjd minst ett år då en viktig systemkomponent i dataöverföringen, signaltranscievern PLT-10A, som använts under utvecklingen drogs tillbaka från marknaden av tillverkaren. Man har sedan enats om en ny och modernare variant av transciever och försäkrat sig om att den blir tillgänglig i framtiden. Efter verifierande prov med den nya kunde arbetet med normerna fortsätta. Tidigare försöksutrustningarna modifieras efter hand med den nya modellen och nya försökståg tillkommer.

Det kan diskuteras om tåg som nu utrustas med ECP-bromsar ska betraktas som försökståg eller som tidiga serietåg. Visserligen fortsätter utvecklingen men det finns en fastställd standard för kabelbaserad ECP-broms och tekniken är relativt väl utprovad. Men hittills har tillämpade försök med ECP-bromsar bara gjorts på enstaka systemtåg i avgränsad skytteltrafik. Men nu har Spoornet i Sydafrika beslutat om total konvertering av hela fordonsparken på ett system av banor för koltransporter.

Det finns fortfarande inga officiellt godkända och certifierade leverantörer av ECP-bromsar för godståg i öppen och allmän samtrafik. Det bedöms dock kunna komma inom ett eller två år<sup>43</sup>.

Förutom ett tidigt tekniskt försök med en prototyp vid Florida East Coast Railroad (FEC) har bara ett försök gjorts med radiovarianten i praktisk försöksdrift.

Försöket gjordes på *BHP Billiton Iron Ore Railroad* i Australien. Försöksdriften påbörjades i augusti 1999 och pågick till september 2000 men avbröts därefter. Det fanns ett antal tekniska problem med den dåvarande första versionen. Med ett första försökssystem och i det tidiga utvecklingsstadiet bör det nog problemen betraktas som normala tekniska "barnsjukdomar". Emellertid fortsatte till en början utveckling av systemet och nya lösningar kom fram för att avhjälpa problemen, men inga prov i praktisk trafik med någon nya version gjorts. GE-HARRIS avbröt därefter utvecklingsarbetet. Orsaken till detta var de ekonomiskt dåliga tiderna för järnvägsbolagen omkring år 2000 som gjorde att intresset och viljan att investera i ECP-bromsar hade avtagit. GE-HARRIS uppgav så sent som 2002 att man avsåg att ta upp utvecklingen igen när det blev bättre tider.

Under tiden har utvecklingen fortsatt av den kabelbaserade ECP-bromsen och den första totala omställningen påbörjats. Den har alltså fått ett stort utvecklingsmässigt och kommersiellt försprång. Realistiskt sett har alltså den kabelbaserade lösningen nu segrat inom AAR i fl länder när det gäller heavy haul trafik med rullande materiel av AAR typ.

Eftersom det rimligen inte kan finnas plats för två olika ECP-system, som inte är kompatibla, inom AAR betyder det antagligen att den radiobaserade lösningen nu blivit utslagen inom AAR även när det gäller ett framtida införande på godståg i allmän vagnslast- och kombitrafik.

## 5.2 Normer och specifikationer för AAR ECP broms

Gällande norm för den kabelbaserade ECP-bromsen är:

MANUAL OF STANDARDS and RECOMMENDED PRACTICES, SECTION E-II

Den blev klar år 2000 därefter har revideringar gjorts. Senast utgivna version är från juni 2004.

Specifikationerna för den kabelbaserade ECP-bromsen omfattar följande dokument:

- S-4200 - "Performance Requirement for ECP Cable-Based Freight Brake System"
- S-4210- "Performance Specification for ECP Brake System Cable, Connectors and Junction Boxes"
- S-4220- "Performance Specification for ECP DC (Head End) Power Supply"

---

<sup>43</sup> Fred Carlson, Privat kommunikation, Transportation technology Center, Inc. (TTCI) Pueblo Colorado, USA

- S-4230- ”Intra-Train Communication Specification”

Normer för den radiobaserade ECP-bromsen är till ca 90 % klara. Enligt planerna skulle de ha blivit färdiga och fastställd i början av 2001, men arbetet med normer och vidareutveckling av produkten ligger för närvarande nere. Orsaken är det nuvarande ekonomiska läget med lågkonjunktur i USA. Den nuvarande arbetsutgåvan av specifikationen är daterad i maj 2002.

Specifikationerna för den radiobaserade ECP-bromsen omfattar följande dokument:

- S-4300 - ”Performance Requirement for ECP Radio-Based Freight Brake System”
- S-4310- ”Cable and Connector Environmental Requirements”
- S-4320- ”On-Wagon Power Environmental Requirements”
- S-4330- ”Intra-Train Communication Specification”
- S-4340- ”Radio and Antenna Performance”

## 5.3 Risk- och felanalys

Den amerikanska motsvarigheten till den svenska Järnvägsinspektion *U. S. Federal Railroad Administration (FRA)* krävde att en risk-och felanalys (*Failures Modes Effects and Criticality Analysis, FMECA*) skulle göras på ECP-systemen baserad på specifikationerna och materielen.

För den kabelbaserade specifikationen S-4200 blev analysen färdig 1999<sup>44</sup>. För den radiobaserade specifikationen (S-4300) var den i det närmaste (98 %) klar men det arbete som var planerat att ske under första halvåret 2001 ligger liksom arbetet med normerna nere i avvaktan på bättre tider och att utvecklingsarbetet skall återupptas<sup>45</sup>.

## 5.4 ECP-bromsens uppbyggnad

Vid ECP broms är de två funktionerna laddning av tryckluft respektive signalering för att sätta till/lossa bromsen helt separerade. Laddningen av luft sker fortfarande genom huvudledningen. Huvuddelen av tryckluftbromsens pneumatiska system finns kvar och används av ECP-systemet. I en variant är även den pneumatiska styrventilen kvar för att möjliggöra användning i pneumatiskt bromsade tåg.

### 5.4.1 Kommunikation via kabel eller radio

Styrningen av ECP-bromsen sker däremot elektriskt genom signalering på det radiobaserade datornätet eller det kabelbaserade ”*Intra-Train Communication (ITC) network*” i tåget.

I det följande beskrivs i första hand den kabelbaserade ECP-bromsen. Mycket av beskrivningen gäller också för den radiobaserad. Ibland pekas på en del viktiga skillnader i konstruktionen eller egenskaperna mellan de båda systemen. Den radiobaserad ECP-bromsen, främst det som skiljer de två systemen, behandlas i 5.6.

---

<sup>44</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

<sup>45</sup> R J Foy, GE-HARRIS Railway Electronics, L.L.C, Privat kommunikation

Den kabelbaserade ECP-bromsen har ett enklare och billigare kommunikationssystem än den radiobaserade ECP-bromsen, vad gäller inköp, installation, underhåll och service. En nackdel med den kabelbaserade är att om det blir signalavbrott på grund av fel på en enda kontakt i den kombinerade elektriska signal och kraftledningen längs tåget så fungerar inte ECP-bromsen längre. I ett långt tåg med ca 200 vagnar och därmed ca 400 kontaktdon inkopplade är därför kontaktdonets funktion och pålitlighet ytterst viktig. Den radiobaserade bromsen kan däremot fortsätta att fungera i ECP-mod även om enstaka vagnar förlorar radiokontakten under färden.

## 5.4.2 Tre varianter av styrsystem

Utöver de två varianterna radio respektive kabel av kommunikationssystem finns det tre principiellt skilda varianter av ECP-bromsar med de amerikanska benämningarna (alternativa namn inom parentes):

- *Overlay (Add on)*
- *Emulerande*
- *Stand Alone (Pure ECP eller All Electric)*

Under den tid omställningen från konventionell tryckluftbroms till ECP-broms pågår behövs ECP-bromsar som även kan fungera som pneumatisk broms i konventionella tåg. De två första typerna, *Overlay* respektive *Emulerande* ECP-broms är avsedda att fylla detta krav. De skall därför kunna styras både med ECP-bromsens signalsystem och på vanligt sätt med tryckvariationer i bromsledningen. *Stand Alone (Pure ECP eller All Electric)* är däremot avsedd att normalt (se nedan) endast användas som ECP-broms.

I alla tre alternativen är större delen av det pneumatiska systemet kvar. Det som skiljer är att styrventilen (*distributor valve* eller *service portion*) finns kvar vid *Overlay* men inte vid *Emulating* och *Stand Alone*. I alla tre varianterna finns däremot den särskilda ventilen för pneumatisk nödbromsning (*emergency portion*) kvar och den är alltid inkopplad så att nödbromsning sker om lufttrycket sjunker i bromsledningen, förutsatt att bromssystemets behållare är laddade med tryckluft.

### 5.4.2.1 Overlay ECP-broms

Vid *Overlay* eller *Add On* ECP-broms är som namnet säger ECP-utrustning ett överlagrat tillägg på den konventionella tryckluftbromsen. Då ECP-bromsen är inkopplad är den pneumatiska styrventilen frånkopplad och vice versa. Originalsystemet finns kvar för att fungera som tidigare om vagnen går i konventionella tryckluftbromsade tåg och som reservsystem om fel uppstår då man kör tåg med ECP-broms. Då kan man koppla ur ECP-bromsen och övergå till att köra med det konventionella systemet, fast med den sämre bromsprestanda som den pneumatiska bromsen har.

Alternativet *Overlay* underlättade ombyggnaden av Spoornets försökståg i Sydafrika. När Spoornet behövde avlägsna ECP-systemet för att uppdatera det med nya komponenter behövde tågsättet inte tas ur drift under ombyggnadstiden utan kördes då med sin pneumatiska broms.

### 5.4.2.2 Emulerande ECP-broms

Vid *Emulating* ECP-broms är den konventionella pneumatiska styrventil borttagen och ersatt med en elektriskt styrd ventil. I pneumatiskt bromsade tåg känner det emulerande ECP-systemet genom tryckgivare av bromssignalerna i bromsledningen och emulerar

beteendet hos den konventionella styrventilen. Det emulerande ECP-systemet uppges ha bättre prestande än den konventionella tryckluftbromsen även vid emulering pga. att tryckgivare i bromsledningen känner av tryckvariationerna med stor noggrannhet. Styrningen av bromsning och lossning blir därför mera exakt och bromsverkan jämnare mellan vagnarna i tåget eftersom cylindertrycket mätes och återmatas i servolopen som därmed kan styra det med noggrannhet och dessutom eftermata om cylindern läcker.

Konventionella godståg, har inte någon elkabel längs tåget och i vagnarna. För att ECP-bromsen skall kunna emulera under mycket lång tid behövs därför någon form av egen strömförsörjning på vagnen (*onboard power generation*). Konventionella batterier räcker inte för användning under så lång tid. Detta är ett komplicerat problem med olika lösningar som behandlas närmare i samband med den radiobaserad ECP bromsen (se 5.6.3).

Med *emulerande* ECP sparas kostnaden och vikten för den konventionella styrventilen. Men den kräver istället mera programvara och mera anordningar för strömförsörjningen än vad *overlay* ECP-broms gör. Den torde därför vara dyrare i anskaffning än *overlay* ECP i varje fall om man inte räknar med kostnaden för den konventionella styrventilen vid *overlay* ECP. Skall man bygga om befintliga vagnar till ECP-broms finns ju redan styrventilen. Det förefaller då tveksamt om emulerande ECP-broms är en bättre och billigare lösning. Det beror på inköpspriset för de två alternativen *overlay* respektive *emulerande* samt underhållskostnaden i fortsättningen. Med *emulating* slipper man underhållet av den konventionella styrventilen.

Att demontera styrventilen vid ombyggnaden för att sälja den eller återanvända förutsätter att det finns ett behov av och marknad för begagnade styrventiler. Spornet avser att sälja eller att själva återanvända frigjorda styrventiler när de nu avser göra en total övergång till *Stand Alone* ECP-broms. De använder fortfarande vakuumbroms på några ställen i sin trafik. En möjlighet är att därför att använda överblivna styrventiler för ombyggnad av vakuumbromsade tåg till tryckluftbroms<sup>46</sup>.

Vid nybyggnad av vagnar kan *emulerande* ECP-broms kanske vara ett mera intressant alternativ eftersom anskaffnings- och underhållskostnaden för den konventionella styrventilen försvinner.

#### 5.4.2.3 Stand alone ECP-broms

*Stand Alone ECP brake* kallas ibland *Pure ECP*, *divers ECP* och även *All Electric*. Den är avsedd att enbart styras med elektriska signaler. *Stand Alone ECP* är avsett att vara den slutliga och enkla lösningen som skall användas efter konverteringsperioden när man bara använder ECP-broms. Den blir därmed enklare och kanske upp till 25 % billigare än en emulerande ECP-broms<sup>47</sup>. Enligt tidiga uppgifter i amerikanska tidskrifter skulle *Stand Alone* varianten inte behöva kunna fungera i konventionella tåg och den skulle inte heller behöva ha den konventionella pneumatiska nödbromsen som styrs via bromsledningen. Med tiden har man tydligen i viss mån ändrat uppfattning i dessa frågor. Nu avser man åtminstone ha kvar den pneumatiska nödbromsen och möjligen också ha en begränsad emulerande förmåga för att i någon utsträckning kunna styra bromsen pneumatisk via huvudledningen.

---

<sup>46</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 Nove Dave van der Meulen, Privat kommunikation, Chief Engineer (Systemic Rail Solutions), Spornet, South Africa mber 2002

<sup>47</sup> R J Foy, GE-HARRIS Railway Electronics, L.L.C, Privat kommunikation



Spoornet i Sydafrika avser nu byta till *Stand Alone ECP-broms* för hela sin koltrafik på huvudlinjen Ermelo - Richards Bay och på tillhörande matarlinjer, efter mycket lyckade prov i kommersiell trafik med ett koltåg som dock var utrustat med *Overlay ECP-broms*. De kräver vid upphandlingen att det finns både en pneumatisk nödbromsfunktion samt den ovannämnda *begränsade emulerande förmågan (limited emulation ability)*. Den senare behövs för att tåget skall kunna fortsätta i pneumatisk mod vid fel på ECP-systemet, dvs. ha en förmåga att kunna ”linka hem” (*limb home ability*) vid fel. Den begränsade emulerande förmågan avser man också att använda i begränsad omfattning t.ex. för att köra korta tåg på matarlinjer, där man inte vill bekosta ombyggnad av lokomotiven, som i vissa fall kan ha andra ägare, t ex gruvbolag<sup>48</sup>.

Stand Alone ECP-broms har hittills inte använts i USA eftersom den inte uppfyller de tvingande federala (FRA) krav som där ställs på tågbrömsystem. Några undantag för Stand Alone ECP-bromsar finns inte ännu. BNSF har övervägt att söka dispens för att få använda en sådan broms i försökståg men ännu inte gjort det. Däremot används Stand Alone ECP-bromsar av en kanadensisk järnväg, Quebec Quarter Mining Railroad (QCM), sedan april 1998 på ett försökståg i malmtrafik med lyckat resultat. QCM överväger också att helt övergå till Stand Alone ECP-broms på sina malmtåg.

Flera kortkopplade vagnar kan ha en gemensam elektronikenhet CCD som styr bromsarna för att minska investerings- och underhållskostnaden. Men dessa fördelar måste vägas mot de nackdelar det medför. Vid fel på den gemensamma CCD-enheten påverkas alla kortkopplade vagnar som ingår i gruppen. Vid reparationen minskas därför tillgängligheten mera och om bromsen måste stängas av påverkas tågets bromstal mera.

### 5.4.3 Datorarkitektur för ECP-bromsar

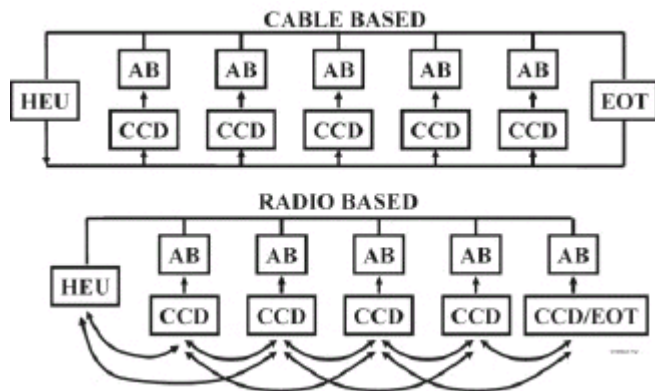
Konventionella databussar för tåg som MVB och FIP ( de vanligaste idag) är avsedda för ”fast sammansatta tåg”. De kräver databaser som beskriver noder och variabler vid definitionen av systemet. Därefter är dessa värden låsta. Varje ändring i tågets sammansättning (eller dataflöde) kräver ändringar i databaserna och de kan inte automatiskt konfigurera om sig vid ändringar.

Godståg som får nya sammansättningar efter rangering behöver en öppen buss- och protokollsarkitektur med förmåga att själv dynamiskt konfigurera datanätet var gång systemet startas upp. När systemet är igång skall det kunna beordras att ändra konfigurationen när tågets sammansättning ändras.

Arkitekturen omfattar ett antal noder i ett datanätet som i benämns *Intra-Train Communication (ITC) network*.

---

<sup>48</sup> Dave van der Meulen, Privat kommunikation, Chief Engineer (Systemic Rail Solutions), Spoornet, South Africa



Figur 11 Blockschemat över kabelbaserad (överst) och radiobaserad ECB broms<sup>49</sup>

Figur 11 visar i den övre bilden blockschemat för kabelbaserad ECP-broms och i den nedre bilden för radiobaserad ECP-broms. Den övre linjen avser i båda fallen luftförsörjningen genom huvudledningen till det pneumatiska system på respektive vagn, AB (Air Brake).

Den undre linjen i den övre bilden är *Train Line kabeln* för kombinerad elkraft- och signalöverföring vid CECP.

Figur 11 visar de tre typerna av noder i nätet:

- HEU på första loket
- CCD i varje vagn
- EOT sist i tåget

Pilarna i undre bilden visar hur radiomeddelanden, som har begränsad räckvidd till några vagnslängder, genom repetition fortplantas bakåt och framåt längs tåget. Till skillnad från vid CECP kan meddelande vid RECP hoppa förbi enstaka vagnar med signalavbrott. Anordning för att generera elektrisk energi måste finnas ombord på varje vagn vid RECP eftersom kabel för strömförsörjning saknas, vilket komplicerar konstruktionen.

## 5.5 Kabelbaserad ECP-broms

### 5.5.1 Komponenter och uppbyggnad

Nedan beskrivs komponenter som ingår i den kabelbaserade ECP-bromsen<sup>50</sup>. Till viss del gäller beskrivningen också för den radiobaserade ECP-bromsen<sup>51</sup>.

<sup>49</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

<sup>50</sup> AAR Manual of Standards and Recommended Practices. ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) CABLE-BASED BRAKE SYSTEM—PERFORMANCE REQUIREMENTS, Standard S-4200

<sup>51</sup> AAR SPECIFIKATION (DRAFT) S-4300 PERFORMANCE REQUIREMENT FOR ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) RADIO\_BASED FREIGHT BRAKE SYSTEM (UTKAST)

*HEU-enheten (Head End Unit)* finns på lok och är förarens interface till EPC-bromssystemet med erforderliga reglage och bildskärm för att presentera data. Den är den aktiva masternoden som kontrollerar och styr nätverket. Bara en HEU får vara aktiv i tåget och nätverket och den skall finnas på det främsta loket i tåget. HEU leder och ombesörjer statuskontroll av bromssystemet, bromsprov mm. HEU tar automatiskt hand om larm om fel och exceptionella händelser i broms- och kommunikationssystemet längs tåget och vidtar erforderliga åtgärder. Av elsäkerhetsskäl ger HEU order om att strömförsörjningen till train line kabeln skall stängas av om förbindelsen med EOT bryts.

*CCD (Car Control Device)* är nätverksnoden som finns i varje vagn. Den tar emot signaler med bromskommando från HEU och även från andra organ om nödbromsning behövs. CCD stöder också andra sofistikerade funktioner genom att förmedla signaler för övervakning och styrning utöver bromssystemets behov i tåget *IDC (Intelligent Distributed Control)*. En CCD kan i klara två eller flera kortkopplade vagnar, vilket ger en billigare lösning, men med risk att flera vagnar måste tas ur drift vid fel på en vagn.

*EOT (End of Train)* är fysiskt den sista noden i nätverket i tåget. Den har något olika funktioner vid kabelbaserad respektive radiobaserad ECP. Vid kabelbaserad ECP är EOT den sista noden i trainline-ledningen. Den kommunicerar med HEU, övervakar lufttrycket i huvudledningen och vid kabelbaserad ECP-broms även matningsspänningen i trainline-ledningens bakända. Den har inbyggd batteriladdare och batteri. EOT-enheten sänder statusmeddelanden till HEU åtminstone en gång i sekunden.

Det finns en *inbyggd EOT-funktion i ECP-utrustningen* för lokomotiv som gör att ett ECP-utrustade lok automatiskt går in som EOT och ersätter den vanliga EOT-utrustningen, förutsatt att loket är sist i tåget, ingen annan EOT-enhet redan finns och vissa andra villkor är uppfyllda.

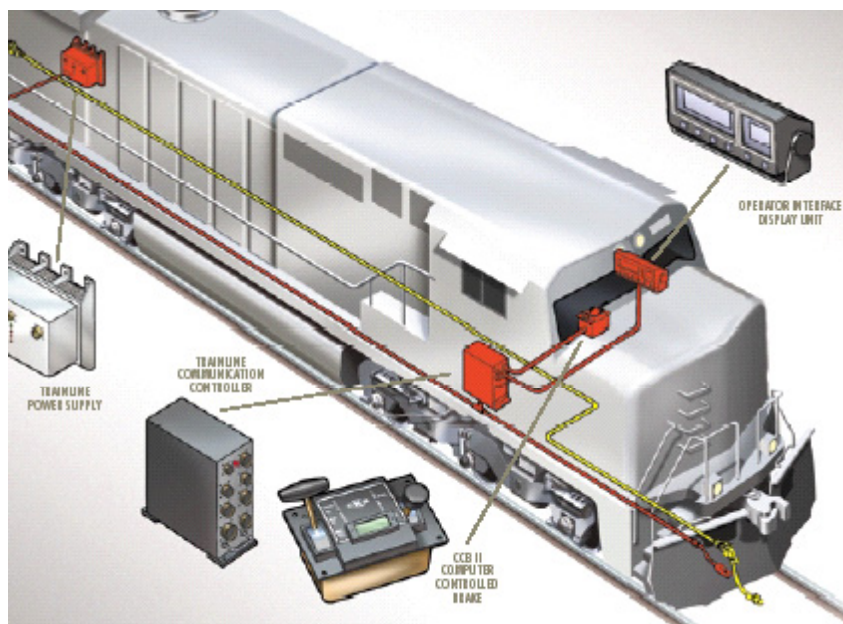
*Train Line* kallas den ledning som används vid kabelbaserad ECP för att överföra elektrisk energi och signaler till de olika noderna i tåget. Den utgörs av en skärmad kabel med två tvinnade ledare med tvärsnittsarea enligt #8 AWG (American Wire Gauge) vilket motsvarar 3,26 mm i tråddiameter. Trainline kabeln har kontaktdon av typ Tristar för hopkoppling mellan vagnarna.

Elförsörjningen utgörs av 230 V DC (likspänning). I vissa skeden matas ledningen med 24 V likspänning. Datatrafikens signaler överlagras ovanpå strömförsörjningens likspänning på samma ledare. Bärfrekvensen (mittfrekvensen) är 132 kHz och den nominella signalspänningen 14 V<sub>pp</sub> (topp till topp). Beträffande signalsystemet se 5.5.2.

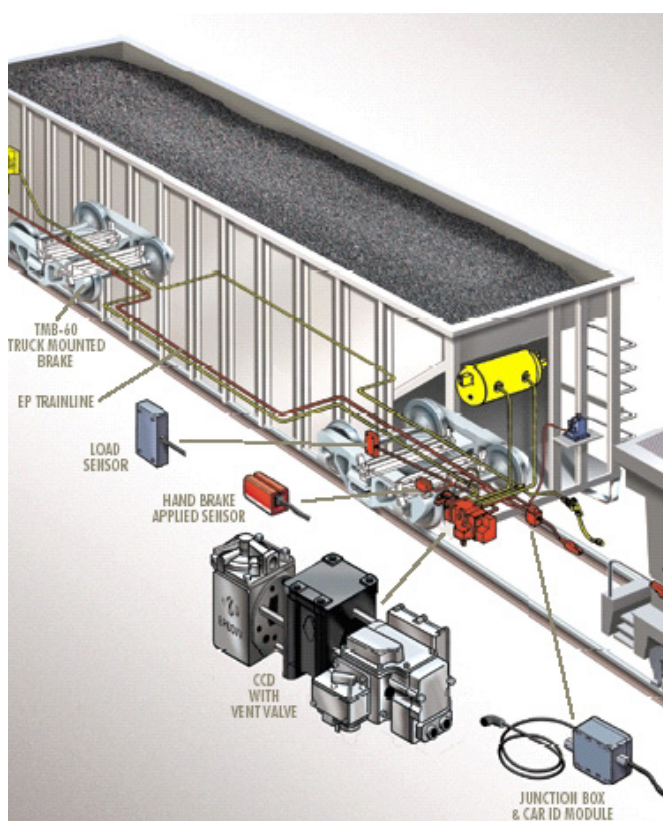
Spänningens polaritet på Train Line ledningen är inte definerad och förutbestämd. Vilken av de två ledarna som är positiv respektive negativ kan variera i olika tåg. Därför är heller ingen av de två ledarna jordad till vagnen och rälerarna.

*Head End Train Line Terminator.* Train Line ledningen skall ha anpassade elektriska avslutningar i båda ändar, bestående av ett 50 ohms motstånd i serie med en kondensator på 0,47 µF, för att minimera risken för fel i dataöverföringen. I tågets bakre ända är denna ledningsavslutning integrerad i EOT-enheten, i tågets främre ända är det en separat avslutning som manuellt ansluts till ledningen.

Figur 12 visar installationen av New York Air Brake (NYAB) ECP-broms på ett lok och figur 13 på en godsvagn.



Figur 12 Lokomotiv med NYAB ECP-broms[Bild NYAB]



Figur 13 Vagn med NYAB EP-60 ECB-broms[Bild NYAB]

*ECP Brake (Train Line) DC Power Supply* är benämningen på strömförsörningsenheten för kabelbaserad ECP. Den omvandlar 74 V likspänning från lokets batteri till 230 V likspänning med effekt upp till 2500W. Vid 230 V skall den klara att strömförsörja

minst 160 vagnar med var sin CCD samt en EOT i tåget. Strömförsörjningsenheten är försedd med en strömbegränsningsanordning för 15 A.

Strömförsörjningsenheten skall alternativt kunna mata ledningen med 24 V DC och minst 30 W. Strömbegränsning och skydd mot att strömförsörjningsenheten skadas vid kortslutning finns. Denna låga spänning används vid den procedur som används för att bestämma i vilken ordning vagnarna är kopplade i tåget, se 5.5.3.4.

Utöver den primära strömförsörjningsenheten på det främsta loket kan ytterligare sekundära strömförjningsenheter från andra lok i tåget beordras att medverka i strömförsörjningen förutsatt att ett antal villkor är uppfyllda.

Strömförsörjningsenheten skall ha en automatisk anordning för att kontrollera om det finns spänning på Train Line ledningen och i så fall dess polaritet. Detta för att undvika att den kopplar in matningen med fel polaritet. Om ingen spänning finns får den koppla in sin spänningsmatning. Om spänning redan finns på ledningen skall strömförsörjningsenheten anpassa sin polariteten till ledningens varefter den kan kopplas till som sekundär strömförjningsenhet av HEU.

*Power Supply Controller (PSC)* styr och kontrollerar spänningsmatningen från *ECP Brake (Train Line) DC Power Supply* till Train Line ledningen på kommandon från HEU. *PSC* undersöker och indikerar om vissa villkor är uppfyllda, t ex om den utgör primär eller sekundär *PSC* med tillhörande strömförjningsenhet i tåget.

*CCD/EOT Power System* är den lokala nätenhet med batteri för strömförsörjning av en CCD respektive EOT. Dessa enheter behöver ca 10 W (maxvärde) som omvandlas i ett switchat nätaggregat för enhetens interna elbehov. Batteriet laddas kontinuerligt via batteriladdare i CCD så snart spänning finns på Train Line kabeln. Vid fel på strömförsörjningen via Train Line kabeln skall det fulladdade batteriet klara att strömförsörja vagnens ECP-utrustning i 4 timmar. Om det blir fel på batterisystemet, t.ex. att det är helt urladdat eller om batterierna skulle saknas får nätenhet användas för att direkt strömförsörja CCD så att den kan fortsätta att fungera på ett normalt sätt. Om en CCD fungerar på detta sätt anses inte den aktuella vagnens broms vara i drift vid beräkning av det relativa antalet operativa bromsar (anges i %). Detta ombesörjs på helt automatiskt sätt av informationssystemet (S-4200 §4.3.14.1).

Det finns en mod för låg energiförbrukning i CCD (low power consumption mode). Då ska medelförbrukningen från Train Line ledningen begränsas till 5 W per CCD under en 15 minuters period. CCD går in i denna mode när den startas eller på särskild order.

*Car ID Module* är en modul på vagnen, som alltid skall innehålla korrekta fasta data om vagnen, dess bromssystem, identitet etc. och som ska förse CCD-enheten med riktig karakteristik, parametrar (konstanta) och annan information. Den skall vara mekaniskt fastsatt på vagnen på ett sådan sätt att den inte kan bli utbytt av misstag om CCD-modulen byts ut.

*Locomotive ID Module* är en motsvarande modul för lok. Den skall likaså vara mekaniskt förbunden med loket så att den inte av misstag kan bytas på fältet om t ex HEU enheten byts ut.

*Locomotive Control Module (LCM)*.

*Operative Brake*. En ”operative brake” (operativ bromsenhet) består av två bromsade boggier (se 5.5.3.3).

*Pneumatic Backup*. Det skall finnas en pneumatisk nödbromsstyrventil som skall trycksätta bromscylindern om trycket i huvudledningen försvinner. Den skall också hjälpa till att tömma ledningen för att öka utbredningshastigheten.

## 5.5.2 Signalsystemet

*ITC, Intra Train Communication Network* är det sammanfattande namnet på nätverket.

För signalering på den kabelbaserade ECP-bromsen används signalprotokollet *Lon Works* från företaget Echelon. LON står för Local Operational Networks.

För anpassning av signalen mellan Train Line ledningen och kretsarna inom CCD enheten används en *transceiver* från företaget Echelon med beteckningen PLT-22.

Till för några år sedan användes en tidigare variant PLT-10A. Den hade något högre signalhastighet men hade sämre räckvidd än den nya. Som tidigare nämnts drogs den oväntat tillbaka från marknaden vilket föranledde förseningar på ett till två år för försöken och för specifikationsarbetet för den kabelbaserade ECP-bromsen. PLT-10A hade en räckvidd på ca 150 vagnar. Den uppgavs ha en kapacitet på ca 40 kompletta datameddelande per sekund. Men vid längre tåg behövdes repeaters vilket medförde ökad trafik på nätet och därmed sänkt överföringskapacitet.

Man övergått till den nya serien PLT-20 där PLT-22 är den variant inom serien som nu används och man har försäkrat sig om den framtida tillgången på denna serie.

PLT-22 har en räckvidd på minst 200 vagnar utan att det behövs repeaters. Den praktiska signalhastigheten är nu ca 10 meddelanden per sekund. Maximala längden på ett datameddelande är 40 bytes.

En i transcievern inbyggd transformator används för att ge galvanisk isolation från Train Line ledningen. Bärfrekvensen är 132 kHz och den nominella signalspänningen 14 V<sub>pp</sub> mätt på Train Line sidan. Den skall signalmässigt vara anpassad mot en Train Line ledning med 50 ohms impedans.

Mängden meddelanden som behöver sändas från olika noder när det gäller att rapportera status begränsas genom att de bara sänder meddelande när något tillstånd avviker från det normala och godtagbara. Det kallas undantagsbaserad kommunikation (*exemption based messaging*). Meddelanden kan sändas adresserat till en enskild nod som *unicast* eller till samtliga noder på en gång genom *broadcast* varvid samtliga noder nås av en order samtidigt och mycket snabbt, det gäller t ex för vanliga bromskommandon *TBC (Train Brake Command)* som riktas till alla noder i bromssystemet.

Ungefär halva signalkapaciteten åtgår för ECP-bromsens egna behov och för styrning av övriga lok i tåget (*DP, Distributed Power Control*). Resterande signalkapacitet kan användas för andra övervaknings-, styrnings- och automatiseringsuppgifter av den typ som ingår i ”intelligenta godståg”. Detta beskrivs i rapporten *Intelligenta informationssystem för godstransporter*.

## 5.5.3 Funktioner och manövrering

Det finns ett antal procedurer och funktionsmoder i ECP-systemet.

### 5.5.3.1 Setup

Setup innebär att föraren kan ändra ECP-bromssystemets konfiguration. Med undantag för inställningarna för tom/lastad vagn och för elkraftförsörjningen på Train Line kabeln genomförs ändringarna endast om tåget står stilla eller efter att tåget har bromsat med full driftbromsning i 120 sekunder. Innan de nya inställningarna träder i kraft måste de på nytt bekräftas. Exempel på inställningar:

- *Nominellt huvudledningstryck, BPR (Brake Pipe Pressure) setpoint.* Inom AAR använder järnvägsbolag olika nominella ledningstryck 80 - 110 psig för att anpassa bromsprestanda efter respektive bolags ban- och trafikförhållanden (se bilaga 2, beskrivning av AAR tryckluftbroms konstruktion och funktion).
- *Tom/Last.* För vagnar som saknar egen anordning för registrering av lastvikten måste föraren via HEU ange om tåget är tomt eller lastat innan tåget sätts i rörelse. Om vagnar har lastgivare, tom/last omställare eller lastbromsautomat skall CCD-enheten använda dessa och ignorera meddelandet från HEU.
- *Utbromsningen NBR (Train Net Braking Ratio)* (älv. benämnt bromsprocenten).

### 5.5.3.2 Operationsmoder

Det finns fyra olika *operationsmoder* för ECP-bromsen:

- *Initialization mode*
- *RUN (köra tåg)*
- *SWITCH (växlingsrörelser)*
- *CUT OUT (stänga av ECP-bromsen)*

### 5.5.3.3 Initialization

ECP-bromssystemet måste startas upp (*initialization*) innan det kan övergå till *RUN*- (köra tåg-) moden. Det innebär att CCD och EOT skall startas upp på nytt om de har blivit avstängda, vilket sker genom att koppla in spänningen på Train Line ledningen. Inom 2 sekunder efter att spänningen vid en nod (CCD eller EOT) stigit till 100 V skall noden ”vakna” och koppla in sig på nätet. EOT börjar därefter sända slutsignal- och statusmeddelanden till HEU.

Därefter sker ett antal aktiviteter, bland annat:

- HEU pollar nätverket för att få kontakt med och identifiera alla noder i nätet. De tilldelas därefter en nätverksadress och läggs in i HEU:s databas.
- HEU kontrollerar att varje enhet i tåget är av kompatibel och godkänd version.
- HEU bestämmer relativa läget inom tåget för varje vagn (nod). Det sker genom en speciell procedur (sequencing) och speciella anordningar för detta i vagnar och lok.
- Om det tillkommit nya vagnar i tåget, skall HEU ladda ner operativa data till dessa.
- HEU skall inhämta vagnsspecifika data genom respektive CCD från *Car ID Module*.
- HEU skickar ner data om tåget till alla noder bl a *utbromsningen (NBR)* och *nominella ledningstrycket (BPR setpoint)*
- Varje CCD bestämmer egna fordonets *lastvikt* för att reglera bromscylandertrycket efter den aktuella lastvikten
- *Lokspecifika data* för övriga lok i tåget hämtas från respektive loks *Locomotive ID Module* via datornätet från det ledande loket inom varje lokgrupp (*locomotive consists*) utom från den främsta gruppen i tåget som är direkt kopplad till det ledande loket. Endast det främre loket i varje grupp kommunicerar alltså direkt med nätverket. Mellan loken inom respektive grupp sker kommunikationen via *MU-kabeln* (en kabel med 27 ledare som används mellan loken vid multipelkoppling).
- HEU visar på bildskärmen antalet potentiellt operativa bromsar i tåget (se 5.5.1). En *operativ broms* utgörs av två bromsade boggiar. Detta kontrolleras av föraren. Om fel verkar föreligga måste databasen kontrolleras mot tågets aktuella sammansättning. Därefter kan HEU få påbörja *sequencing* processen för att bestämma det relativa läget av noderna (fordonen) inom tåget.

### 5.5.3.4 Sequencing

Vid denna procedur matar strömförsörjningsenheten Train Line ledningen med 24 V. Varje vagn och lok har en inkopplingsbart motstånd mellan de två ledarna i Train Line kabeln som skall dra en ström på 0,65 A vid 24 V. Motståndet kan inkopplas på order från HEU.

Varje vagn och lok har också en anordning som känner av den ström som går i Train Line ledningen då fordonet befinner sig mellan strömförsörjningen och det inkopplade motståndet. Bortom det inkopplade motståndet flyter ingen ström och fordonen där kan inte registrera någon ström.

HEU beordrar samtliga fordon, ett i taget att koppla in sitt motstånd, varefter 24 V spänning under en kort ögonblick inkopplas. Därefter kopplas motståndet ur igen. Fordonen räknar antalet strömpulser de kan registrera.

Genom antalet registrerade pulser under hela proceduren kan varje vagn och lok bestämma sitt relativa läge. Noll pulser fås vid det sista fordonet, en puls vid det näst sista o s v. Även fordonens orientering bestäms (vilken vagnsända som är riktad mot det främsta loket).

### 5.5.3.5 RUN (Köra tåg vid tågrörelse)

Detta är den normala moden och väljs sedan tåget är konfigurerat och klart. Då är alla anordningar för säkerhetsövervakning, för att upptäcka fel samt för att systemet automatiskt ska vidta erforderliga motåtgärder vid fel inkopplade för att långa tåg skall kunna framföras säkert i full hastighet.

### 5.5.3.6 SWITCH Mode (Växling)

I denna mode kan växlingsrörelser utföras (röra tågsättet) trots att HEU och EOT inte har kontakt med varandra via Train Line ledningen. Det används när vagnar skall växlas bort från tåget eller tillkomma (varvid antal vagnar och fordon inte längre stämmer med uppgifterna i databasen).

### 5.5.3.7 CUT OUT Mode (stänga av hela systemet)

Används för att stänga av hela ECP-systemet när tåget skall parkeras eller när det skall övergå från ECP-mode till konventionell pneumatisk bromsning (gäller tåg med overlay eller emulator), eller när föraren vill stänga av samtliga CCD och släppa ut luften i bromsarna före växling.

### 5.5.3.8 CCD Cut out/Cut in

Med detta menas att en enskild CCD antingen på eget initiativ eller på kommando från HEU kan stänga av sig. När den gör det avbryter den eventuell pågående ECP-bromsning och bromsen övergår till pneumatisk mode, så att bromsen på den egna vagnen därefter styrs via huvudledningen. Om huvudledningen är laddad men ingen trycksänkning för bromsning är gjord töms bromscylindern så att bromsen lossar, annars fylls cylindern till ett tryck så att bromsning sker enligt den aktuella trycksänkningen i huvudledningen. CCD:n fortsätter att ladda sin förrådsluftbehållare. Om CCD kan, fortsätter den att skicka statusmeddelande enligt pollningscykeln.

En CCD skall stänga av sig av ett antal skäl, bl a på order från HEU eller om den själv upptäcker vissa fel i kommunikationen eller ett avbrott i strömförsörjningen kombinerat med att batteriet är dåligt laddat etc.



### 5.5.3.9 CCD eller EOT i Shutdown Mode

Denna mode ("battery conservation mode") används för att spara på batteriets laddning. CCD och EOT stänger därvid av sig. Om spänningen på Train Line försvinner fortsätter CCD och EOT i det längsta att fungera med strömförsörjning från batteriet. Meningen med denna mode är att underlätta för tåget att fungera så längre som möjligt efter att ett strömavbrott inträffar på Train Line ledningen och att spara på batteriet om vagnen eller EOT kopplas bort från ledningen, om tåget parkeras eller då ECP-systemet beordras göra *Cut Out*. CCD och EOT skall själva stänga av sig en timme efter det att Train Line ledningen blivit utan spänning och att slutsignaler från EOT upphört komma eller omgående om Train Line-ledningen blir spänningslös kombinerat med ordern *Cut Out*.

## 5.5.4 Övervakning av och åtgärder vid fel på ECP-systemet

### 5.5.4.1 ECP-systemets hantering av fel

Genom kommunikationen mellan HEU, CCD och EOT underrättas HEU om eventuella fel som uppstått hos olika noder. Noderna pollas (tillfrågas) då och då enligt ett schema (pollningscykeln) av HEU om sin status. De kan också få tillgång till nätet för att på eget initiativ skicka meddelanden om fel uppstår.

Beroende på felets art kan olika åtgärder initieras. CCD-enheter kan besluta om att stänga av sig själva (se CCD Cut out ovan) eller att utlösa nödbromsning av tåget.

HEU tar emot felmeddelande och vidtar lämpliga åtgärder allt efter allvarlighetsgraden i meddelandet. Det finns fem olika grader av fel (fault degree), där grad 1 är den allvarligaste och innebär att hela ECP-systemet är ur funktion, grad 2 att felet leder till påtvingad drift- eller nödbromsning, och den lägsta grad 5 gäller för individuella fel på enstaka enheter. Felen kan vara olika former av el- och signalstörningar, tryckförlust i bromsledningen, att vissa viktiga signalmeddelanden mellan HEU, olika CCD och EOT inte kommit fram till noder inom viss tid osv.

Datorsystemets åtgärder kan vara att enbart registrera felet, att registrera felet och larma föraren, att systemet automatiskt vidtar olika motåtgärder som t ex:

- *Supression* vilket är en automatisk driftbromsning som sätts in för att undvika nödbromsning
- *Penalty braking* som är en elektroniskt styrd driftbromsning för att t ex ta ned för hög hastighet eller annat överskridande av de gränser som gäller för tågets framförande och
- I allvarligare fall elektrisk nödbromsning då vissa fel uppstår. Vid elektrisk nödbromsning töms inte huvudledningen. Därför är det möjligt att snabbt häva nödbromsningen för fortsatt körning.
- I värsta fall utlöses pneumatisk nödbromsning. Då töms huvudledningen, varför det tar det relativt lång tid att ladda bromssystemet för att kunna lossa bromsarna och fortsätta färden.

När ECP-systemet upptäcker att antalet operativa bromsar i tåget minskar meddelas föraren enligt följande (detta gäller vid framförande av tåg, dvs. i RUN mode):

- När HEU registrerar mindre än 95 % respektive mindre än 90 % operativa bromsar i tåget varnas föraren med akustisk och optisk signal och det aktuella värdet skall presenteras. Föraren måste bekräfta att han uppfattat meddelandet.
- Om antalet operativa bromsar faller under 90 % i kombination med vissa fel i elförsörjningen varnas föraren och full driftbromsning beordras.
- Om antalet operativa bromsar faller under 85 % varnas föraren och elektrisk nödbromsning beordras.

Det finns på detta sätt en omfattande felhierarki (fault hierarchy) med olika automatiska motåtgärder. Genom att i första hand bara varna föraren, eventuellt i kombination med driftbromsning och undvika nödbromsning då det inte är nödvändigt, begränsas påkänningar i tåget och därmed risker för skador på koppel och vagnar och för urspårningar.

#### 5.5.4.2 Övervakning av verkställande bromsanordningar

ECP-systemets övervakning är i huvudsakligen begränsad till IT systemet och till övervakning av lufttrycket i ledning, förrådsluftbehållare och bromscylindrar. Dessa viktiga mätpunkter lämpar sig väl för övervakning eftersom tryckgivare är enkla att bygga in och pålitliga. System för kontroll av bromsrörelsens mekaniska delar, deras position och mätning av blockkrafter ingår inte ännu. Sådana givare är besvärligare att bygga in och underhålla. Därför är inte övervakningen av bromsens funktion fullständig inom ECP-systemet.

Genom att komplettera med information från markfasta anordningar för att övervaka hjultemperaturen går det att vid varje passagetillfälle få information om hur bromsen fungerar vid vartenda hjulpar i tåget, se 5.9.3 samt rapporten Intelligenta informationssystem för godstransporter på järnväg.

#### 5.5.4.3 Fjärrmanövrerad parkeringsbroms

Det finns åtminstone en produkt för att via det kabelbaserade ECP-systemet övervaka och fjärrstyra parkeringsbromsen läge. Det är handbromsen 9300-ASR (Automatic Set and Release) från företaget Cardwell Westinghouse, ett dotterbolag till Wabtec. Handbromsen kan dels manövreras för hand på konventionellt sätt dels styras via ECP-systemet. Den drivs pneumatiskt med luft från bromssystemet. Att sätta till bromsen tar med anordningen ca 30 – 60 sekunder.

#### 5.5.5 Laddning av förrådsluftbehållare

I ECP-mode laddas förrådsluftbehållarna kontinuerligt från huvudledningen. Laddning från annat håll, t ex med luft från bromscylindern får inte ske. Ingen avbrottsmekanism får finnas som kan hindra laddning från ledningen till behållaren. Däremot skall en anordning (backventil) finnas som hindrar att behållarens luft leds ut i ledningen, t ex då ledningstrycket försvinner vid pneumatisk nödbromsning.

Det skall finnas strypningar i kanalen mellan ledningen och behållaren som gör att laddningen av behållaren upp till 85 psi sker inom tidsintervallet 410 – 480 sekunder då ledningen har 90 psi tryck.

## 5.5.6 Styrning av ECP-bromsen

### 5.5.6.1 Styrorder på datanätet

Då föraren reglerar bromsen (bromsar/lossar) översätts detta av HEU till styrorder vilka sänds som broadcastmeddelande till samtliga enheter på datanätet. Dessa styrorder, *Train Brake Commands (TBC)*, bestämmer nivån på bromskrafterna när bromsen styrs elektroniskt. De anges i procent från 0 % till 100 % av full driftbroms i steg om 1 %. Lägsta bromsnivå är dock 10 %.

Elektronisk nödbromsning skall ge en styrorder (TBC) motsvarande 120 %.

Dessutom sänder HEU ut ett broadcast-meddelande vid initialiseringen och därefter nya meddelanden med 120 sekunders mellanrum som innehåller uppgifter om vilken *utbromsningen (NBR)* och vilket *nominellt ledningstryck (BPR setpoint)* som gäller och viss annan information.

HEU skall medge att föraren respektive ECP-systemet kan utföra följande:

- Lätt drift bromsning (*Minimum Service Brake Application*) 10 %
- Fullbroms (*Full service*) 100 %
- Nödbroms (*Emergency*) 120 % (avser elektronisk nödbromsning, ej pneumatisk)
- Lossad broms (*Full release*) 0 %
- Gradvis ökad eller minskad bromsning (*Graduated applications and release*) i steg om 1 % mellan 10 % och 100 %
- Utföra beordrad bromsning genom ECP-systemet (*Supression*) när det är tillämpligt, t ex från ATC/ATP-system om tillåten hastighet överskrids
- Bekräfta/kvittera (*Acknowledgement*) att föraren har uppfattat meddelanden från systemet, när det är tillämpligt

Vid kommando om nödbromsning sänds startas en timer som hindrar att föraren kan upphäva nödbromsningen förrän tidigast efter 120 sekunder. Om nödbromsningen utlösts på grund av något fel kvarstår dessutom nödbromsningen tills felet avhjälpes eller man bytt operationsmode (se ovan, t ex ändrat bromsmetod).

### 5.5.6.2 Utbromsning (Net Brake Ratio, NBR)

CCD-enheten skall ombesörja att bromscylindern vid full driftbromsning fylls med det lufttryck som motsvarar den utbromsning som HEU har beordrat.

CCD skall ha 12,8 % som normalvärde (default value) på utbromsningen vid full driftbroms tills ett annat värde beordras av HEU-enheten.

### 5.5.6.3 Beräkning av bromscylindertryck

CCD-enheten beräknar erforderligt cylindertryck för full driftbromsning.

Det görs med följande formler

$$FSP = \frac{NBR \cdot W}{C}$$

$$C = (A_p \cdot LR \cdot EFF)$$

där

FSP = Full-service brake cylinder pressure (bromscylindertryck vid full driftbromsning)

NBR = Net Braking Ratio (utbromsningen vid full last och full driftbromsning vid ett nominellt ledningstryck av 90 psi)

Ap = Bromskolvens arean

LR = Mekaniska utväxlingen genom hävarmarna i bromsrörelsen

EFF = Verkningsgraden för mekaniska systemet cylinder, kolv och bromsrörelse

W = Vagnvikten

#### 5.5.6.4 Bromskraftens anpassning till lastvikten

CCD-enheten i vagnen skall enligt specifikationen få information om lastens vikt dels vid första initialiseringen vid uppstart och sedan vid platser där lastning eller lossning sker. CCD-enheten skall då få information om hur många procent av maximal last vagnen har antingen genom order från HEU eller från lastgivare på vagnen. Så länge CCD är aktiv skall den uppdatera den i minnet lagrade uppgiften om lastvikten då den ändras. Den skall ta informationen från den bästa (prioriterade) källan enligt fastställda regler i huvudsak enligt följande:

1. Från mekanisk tom/last anordning på vagnen
2. Om inte mekanisk tom/last anordning finns skall CCD ta informationen från olika källor och givare i följande prioritetsordning:
  - A. Från elektronisk lastgivare (skall alltid gälla före beordrat värde från HEU)
  - B. Beordrat värde från HEU till enskild CCD om sådant värde har sänts efter senaste initialiseringen. Vid ny initialisering återställer CCD lastvärdet till det definierade normalvärdet för vagnen
  - C. Last/Tom kommando från HEU till hela tåget. (Vagnar som erhållit individuell order om lastdata i skalan 0 % till 100 % enligt B. ovan ignorerar kommandot och bibehåller sin tidigare inställning)
  - D. Normal- (Default-) värde: Antag full last (100 %)
3. Någon manuellt sätt att mata in data med högre prioritet får inte finnas.

#### 5.5.6.5 ECP-bromsens reaktionstider

CCD skall reglera bromscylindertrycket enligt följande fordringar, baserat på AAR testtrigg. Den motsvarar en vagn med en 50 fot (15 m) lång huvudledning (S-4300 § 4.3.11):

1. Slutvärdet på bromscylindertrycket skall ligga inom +/- 3 psi från beordrat värde.
2. Vid ansättning av bromsen gäller följande tider för bromscylindertrycket:
  - A. Minimum Service Application (lätt driftbromsning) 10 %: Bromscylinderns sluttryck inom +/- 3 psi skall uppnås från lossad broms inom högst 2,0 sekunder.
  - B. Full-Service Application (full driftbroms) 100 %: Bromscylinderns sluttryck inom +/- 3 psi skall uppnås från lossad broms inom högst 10,0 sekunder och efter minst 6,0 sekunder

- C. Emergency Application (nödbromsning): Bromscylinderns sluttryck inom +/- 3 psi skall uppnås från lossad broms inom högst 12,0 sekunder och efter minst 7,0 sekunder

1. Vid snabb lossning av bromsen (Full-Service Release).gäller:
  - A. Från det ögonblick respektive CCD erhåller det nya bromskommandot ska bromscylindertrycket gå ned till 5 psi eller lägre på högst 15,0 sekunder
  - B. Det får dock inte ske på kortare tid än 6,0 sekunder.

Tillsättningstiden är alltså mycket kortare, bara 10 till 20 % av tillsättningstiden för AAR pneumatiska broms (ca 60 s). Ändå är den ungefär dubbelt så lång som vid UIC pneumatiska broms i bromsläge P och R (3-6 s). Däremot är ECP-bromsens lossningstid något kortare än vid UIC P och R broms (15-20 s). Dessa tider gäller inom den enskilda vagnen. Med hänsyn till den snabba signalutbredningen, där åtminstone vid den kabelbaserade ECP-broms samtliga CCD nås samtidigt av bromskommandon (se nästa stycke), förefaller därför tillsättningsstiderna för ECP-bromsen fortfarande vara långa.

#### 5.5.6.6 Signalutbredningstid och accesstid till nätet.

Signalutbredningstiden är försumbar. Bromsmeddelanden, *Train Brake Commands (TBC)* sänds som broadcastmeddelanden adresserade till samtliga noder. Alla CCD nås av meddelandet samtidigt, förutsatt att inte meddelandet skall återutsändas längs Train Line ledningen av en repeterare. Det behövs inte längre eftersom räckvidden på den nya signaltransducern PLT-22 är tillräcklig även för långa tåg.

En viss tid åtgår för att få access till datanätet. Med ca 10 kompletta datameddelande per sekund kan väntetiden vara ca 0,1 sekund. Meddelandelängden är maximalt 40 bytes. Den tid det tar pga datameddelandets längd. och för databehandlingen i HEU och inom CCD tillkommer.

Fördröjningar för bromsens styrkommandon är i sammanhanget försumbara och dessa når samtliga noder och fordon i tåget praktiskt taget samtidigt.

Detta gäller inte i samma grad för den radiobaserade ECP-bromsen där utbredningstiden längs tåget uppges vara ca 1 och till maximalt 2 sekunder se 5.6.

### 5.5.7 Elsäkerheten för Train Line kabeln

För att undvika el-olyckor och hålla hög elsäkerhet övervakas kabeln automatiskt. Då systemet upptäcker ett avbrott på ledningen stängs matningen av 230 V spänningen omedelbart av.

### 5.5.8 Fjärrstyrning av lok via ECP-system

I det kabelbaserade ECP-systemet kan ingå ett integrerat system för fjärrstyrning av lok fördelade i tåget (*Distributed Power Control*). (Se även rapporten Fördelad dragkraft). Lokomotiven kan vara fördelade enskilt eller i några sammanhållna lokgrupper (*Locomotive Consists*) i tåget. Detta system benämns integrerad DP/ECP-broms.

Systemet medger *synkron körning (synchronous operation)* och dynamisk bromsning av alla lok i tåget. Det innebär att alla lok körs/bromsas likadant.

Oberoende körning (*independent operation*) är också möjlig. En främre manövergrupp som kan bestå av ett eller flera lok (eller grupper av lok) manövreras via de vanliga reglagen. Den oberoende bakre manövergruppen, som också kan utgöras av enstaka eller flera lok (respektive lokgrupper) styrs oberoende av den främre gruppen, via tangentbord och dataskärm.

#### 5.5.8.1 Bromsning av lok

Hur lok skall bromsas vid ECP-bromsning av tåg är inte bestämt i specifikationen S-4200 (§ 4.3.5.1). Det får bestämmas av respektive järnvägsbolag. Anledningen är att en del järnvägsbolag inte vill att ECP-bromsning av tåget automatiskt skall medföra bromsning av loken genom pneumatisk bromsning eller genom elektrisk motståndsbromsning. Ett skäl kan vara att man vill använda förfarandet ”bailing off the air” på lok som används vid ”power braking” för att minska tryckkrafter i tåget eller för att hindra att tåget stannar för tidigt, se bilaga 2.

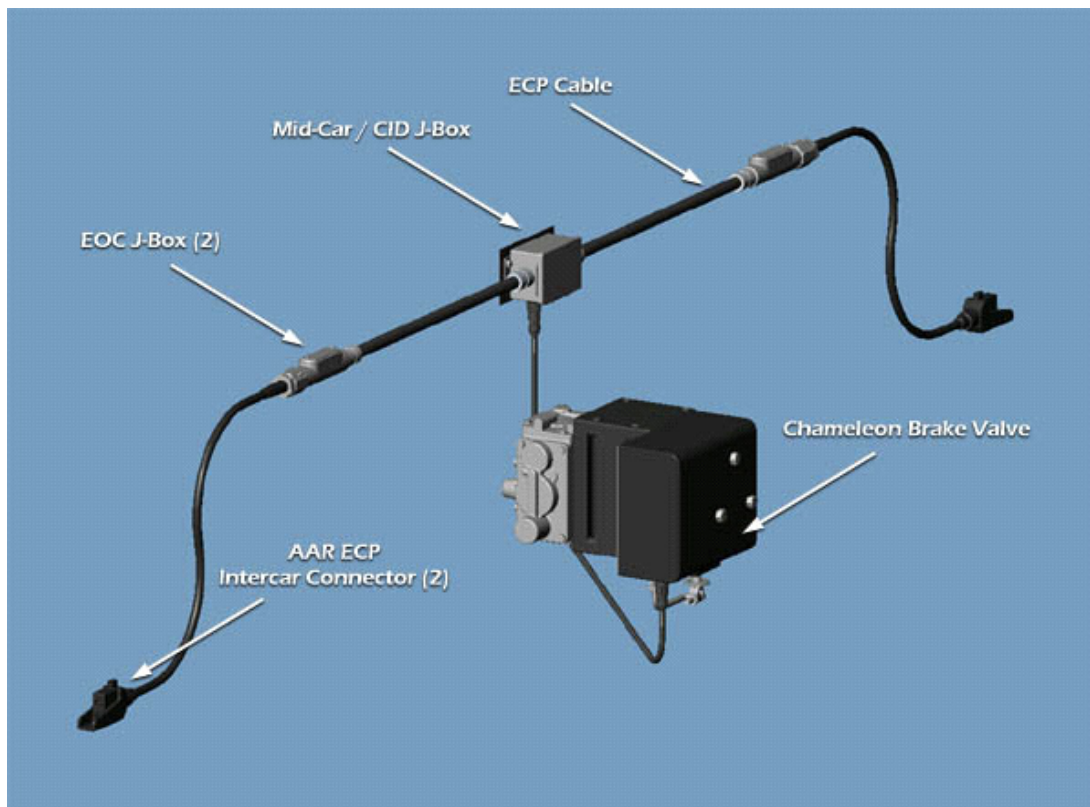
Specifikationen tillåter att tillverkare och järnvägsbolag utvecklar egna system för lokbromsning i samfunktion med ECP-bromsning, förutsatt att systemen tillåter interoperabilitet mellan lokomotiv utrustade med ECP-system från olika tillverkare.

Specifikationens krav rörande styrning av lokens bromsar vid ECP-bromsning gäller för ECP-utrustningen på det *främsta, ledande loket* i tåget och för det via ECP-kabeln fjärrstyrda loket (*controlling locomotive*) inom varje övrig lokgrupp. Andra lok inom grupperna styrs genom multipelkopplingskablar (*MU, Multiple Unit Cables*) samt det vanliga multipelkörningssystemet från det främsta loket i tåget respektive från det ECP-fjärrstyrda loket inom den egna gruppen.

### 5.5.9 Train Line kabel med komponenter

Figur 14 visar ett antal komponenter i Zeftrons emulerande ECP-broms ”Chameleon” på en godsvagn. Komponenterna är:

- Train Line kabeln för överföring av elkraft och signaler längs vagnen och tåget
- Mid-Car CID J-box (Car ID Module) med lagrade vagnsdata. Den skall vara mekaniskt fastsatt vid vagnen så den inte av misstag blir utbytt
- CCD (Car Control Device) enheten dvs nätverksnoden med den emulerande styrventilen av typ Chameleon från Zeftron Inc.
- Skaryboxen (J-Box, Junction Box) vid vardera vagnsändan utgör anslutning mellan vagnens interna kabel och den yttre kabeln för anslutning till nästa vagn
- Den yttre kabeln har kontaktdon (Intercar Connector) av typ Tri Star för koppling till nästa vagns yttre kabel



Figur 14 Emulerande ECP-system från Zeftron Inc, USA [Bild Zeftron]

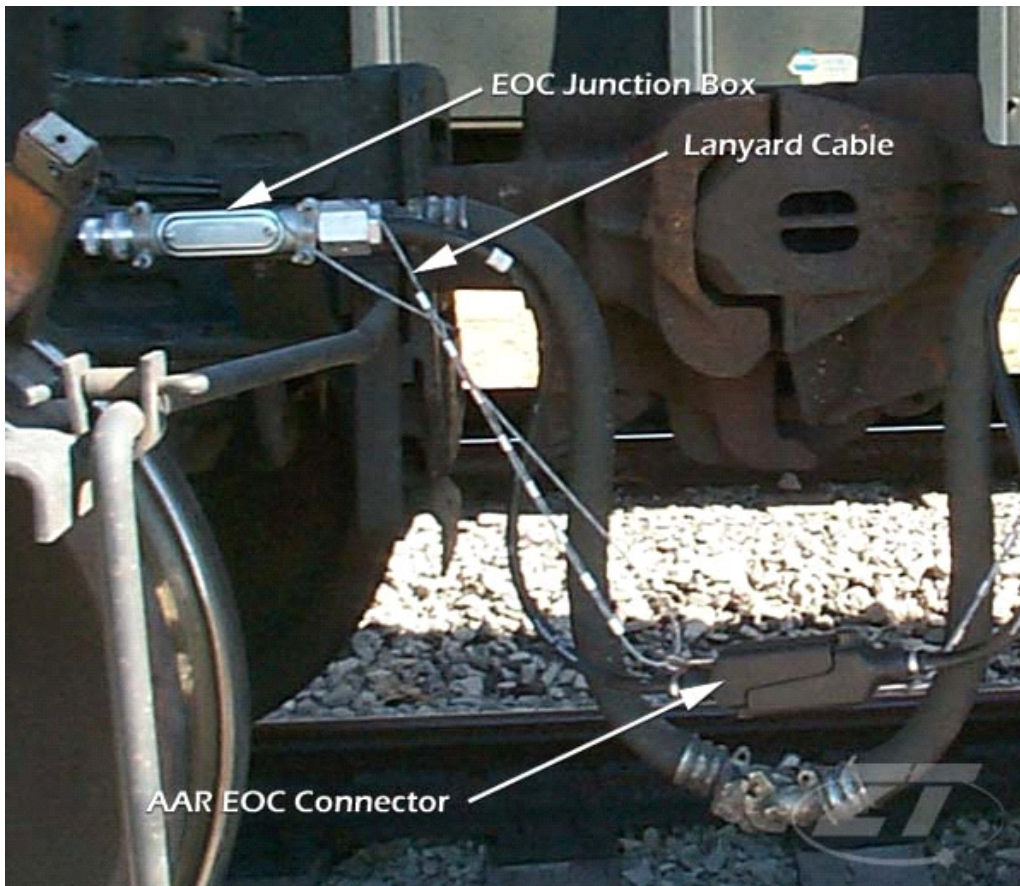
En yttre kabeln med skarvdon och kontakt visas i figur 15. Tri Star kontaktens stift och hylsa är isolerade för att skydda mot beröring av spänningsförande delar. Observera vad som tidigare sagts, att det inte är i förhand definierat vilken av de två ledarna som är positiv respektive negativ (se 5.5.1 och 5.5.7). Det kan variera och följaktligen är heller inte någon av ledarna jordad.



Figur 15 Train Line kabel med kontaktdon<sup>52</sup>

Hur Train Line kabeln är kopplad mellan två amerikanska godsvagnar framgår av figur 16. För att förhindra att kabeln faller ner på spåret och skadas om kontakterna skulle släppa hopkopplingen och säras finns det en säkerhetslina (Lanyard Cable).

<sup>52</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002



Figur 16 Train Line kabeln. Säkerhetslinan Lanyard Cable skall hindra kontaktdonet från att alla ned på banan och skadas om kontaktdonen skulle säras. [Bilden från Zeftrons hemsida]

Erfarenheter vid Spoornets försökstrafik visade på två problem med Train Line kabeln. Det första var vid passage genom roterande vagnstömmare. Spoornets kablar är kortare än AAR standardens längder varför de måste kopplas isär. Det skall rättas till då man övergår till ECP-bromsar på hela vagnparken.

Det andra problemet var att train line kablar inte blev hopkopplade då tåget sätts samman på olika utlastningsställen vilket orsakar förseningar. Erfarenheten visar att normalt har man inte motsvarande problem med hopkoppling av bromsslängarna. För att komma tillrätta med detta avser Spoornet använda den kombinerade ”piggyback” kopplingen som visas i figur 17 <sup>53</sup>. I den ingår både huvudledningen och Train Line kabeln.

<sup>53</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002





Figur 17 Piggyback integrerad slangkoppling och skarvdon för Train Line kabel

### 5.5.10 Är Train Line kabeln den svaga länken?

Är TrainLine kabeln ECP-systemets svaga länk? Var än ett fel eller avbrott i kommunikationen uppstår mellan främsta enhet, HEU, och sista enhet, EOT, upptäcks detta av ECP-systems olika noder mycket snabbt och automatiska säkerhetsåtgärder vidtas. ECP-systemet är därför som tidigare sagts säkerhetsrelevant. Under färd kan upp till 15 % av tågets bromsar upphöra att fungera (bli icke operabla) och tåget tillåts ändå fortsätta i ECP-mode. Däremot kan inte tåget fortsätta i ECP-mode om ett avbrott på Train Line ledningen uppstår. Eftersom det finns två kontaktdon i ledningsanslutningen mellan två vagnar blir det ett stort antal kontaktdon, som samtliga måste fungera, i ett tåg med många vagnar. Train Line kabelns kontaktdon är därför en kritisk och viktig komponent för funktionssäkerheten och tillgängligheten. Vid ett långt tåg med tvåhundra vagnar är det fyrahundra don som alla måste fungera.

Kontaktdon för galvanisk överföring är känsliga för smuts, fukt, snö, is och korrosion som påverkar ledningsförmågan särskilt för datasignalerna. Genom att elförsörjningen sker via samma ledning är det tänkt att dess högre spänning skall bryta eventuellt dålig kontakt, ”rensa” kontakterna och förbättra signalöverföringen

Rimligen kommer påfrestningen på kontaktdonen att i längden bli betydligt större vid allmän godstrafik där vagnarna frekvent skall kopplas ihop och isär än vid hittillsvarande förhållanden med systemtåg som i hög grad hålls samman. Då blir kanske slitaget och inte påverkan av klimat och åldring den stora felorsaken. Vårdslös och felaktig hantering av växlingspersonalen kan förorsaka kraftigt ökat ”slitage” och många kontaktfel.

För att få en uppfattning om sannolikheten för fel som leder till avbrott på förbindelsen görs en grov uppskattning enligt följande:

Antag att exponentialfördelning gäller, som vid fel pga. åldring hos elektronikkomponenter. Gör också det optimistiska antagandet att det är 50 år mellan sådana fel på ett enskilt kontaktdon som förorsakar ett signalavbrott samt att tåget består av  $n$  st fordon vilket ger totalt  $2n$  kontakter längs ledningen.

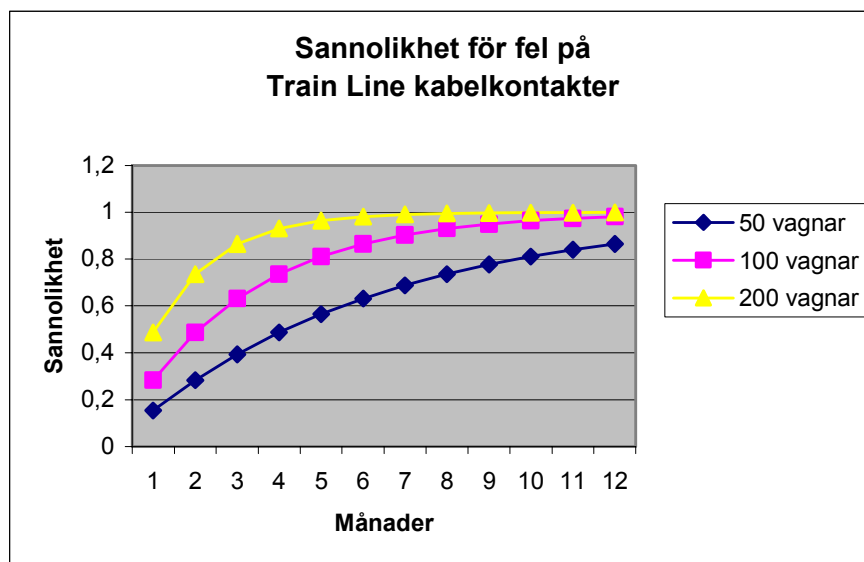
Då blir sannolikheten för att ett fel på kabelförbindelsen uppstår inom tiden  $t$  månader

$$F_{\xi(1)}(t) = 1 - e^{-\lambda 2nt}$$

där väntevärdet för fel på en enskild kontakt enligt antagandet ovan är  $E[\xi] = 1/\lambda = 50 \cdot 12 = 600$  månader.

Väntevärdet för signalfel på ett tåg med  $n$  st fordon är  $E[\xi_{(1)}] = 50 \cdot 12 / (2 \cdot n)$

Det betyder att för ett tåg med 50, 100 respektive 200 vagnar kan man i genomsnitt vänta att fel uppstår med 6 månaders, 3 månaders respektive 1,5 månaders mellanrum. Sannolikheten för att tåget drabbas av ett signalfel inom viss tid framgår av figur 18. Om antagandena är riktiga skulle alltså mycket långa tåg riskera att råka ut för signalavbrott var eller varannan månad. För kortare tåg, vilket är mera realistiskt när det gäller allmän godstrafik i Europa skulle felen uppträda med ca  $\frac{1}{4}$  till  $\frac{1}{2}$  års mellanrum.



Figur 18 Sannolikheten för signalavbrott på train line-kabeln inom viss tid vid ett tåg med  $n$  st fordon.

Konsekvensen av ett kontaktfel beror på hur snabbt och lätt man kan lokalisera det felaktiga stället och byta kabeln med den felaktiga kontakten samt om felet uppstår under tågbildningen på rangerbangården eller om det uppstår under färd ute på linjen. Om det är svårt att bestämma vilken av de två möjliga kabelkontaktarna som är felaktig är det kanske enklast och snabbast att byta båda kablarna.

ECP-systemets anordningar för övervakning och diagnostik kan underlätta reparationen om det snabbt och exakt kan ange läget för signalavbrottet.

## 5.6 Radiobaserad ECP-broms

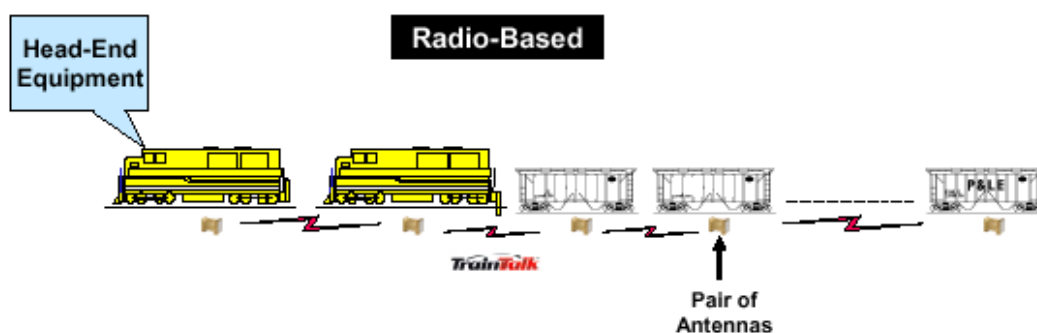
Det finns bara en tillverkare av radiobaserad ECP-broms, GE-HARRIS. Systemet har namnet *EPx™ Direct Braking wire-free ECP brake system for wagons*<sup>54</sup>. GE-HARRIS har också utvecklat ett eget signalprotokoll för ändamålet *TrainTalk™*.

Det är en *emulerande ECP-broms* som sålunda kan användas både i konventionella pneumatiskt bromsade tåg och i tåg med radiobaserad ECP-broms. Därmed behövs ingen konventionell styrventil.

### 5.6.1 Radiokommunikationen

Signalöverföringen sker trådlöst via radio i varje fordon. Fordonen har en antenn på vardera sidan av fordonet med loberna riktade längs tåget mot fordonen framför och bakom. Radiofrekvensen är 2,4 GHz, se figur 19.

Radiovågorna har begränsad räckvidd och når normalt ca 5 vagnar bort. Genom ett system med "token" (virtuell budkavle eller stafettpinne med adress) varierar de noder som repeterar. Därmed kontrolleras att samtliga noder fungerar och deltar. Vid kommunikationsfel på någon vagn hoppas den över och systemet registrerar detta. Ett radiofel på någon vagn förorsakar sålunda inte ett totalt signalavbrott längs tåget som vid avbrott på signalkabeln. Systemet känner hela tiden av vilken sida av respektive vagn som har bäst fältstyrka och anpassar kommunikationen hela tiden efter aktuella förhållanden för att uppnå optimal funktion.

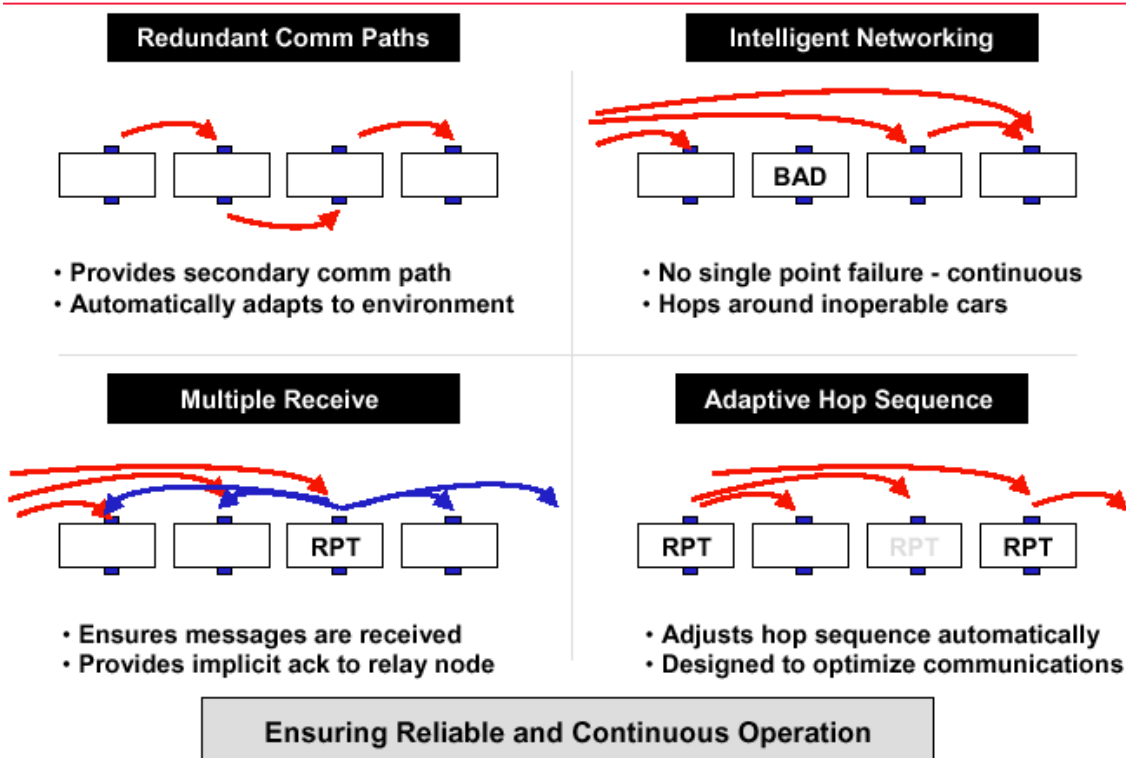


Figur 19 GE Harris Radiobaserade ECP-broms [Figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]

Figur 20 nedan visar hur radiokommunikation kan anpassa hoppmönstret för att ta sig förbi felaktiga enheter och för att optimera funktionssäkerheten .

<sup>54</sup> AAR SPECIFIKATION (DRAFT) S-4300 PERFORMANCE REQUIREMENT FOR ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) RADIO\_BASED FREIGHT BRAKE SYSTEM (UTKAST)

## EP<sup>x</sup>® Radio-Based Communication Design

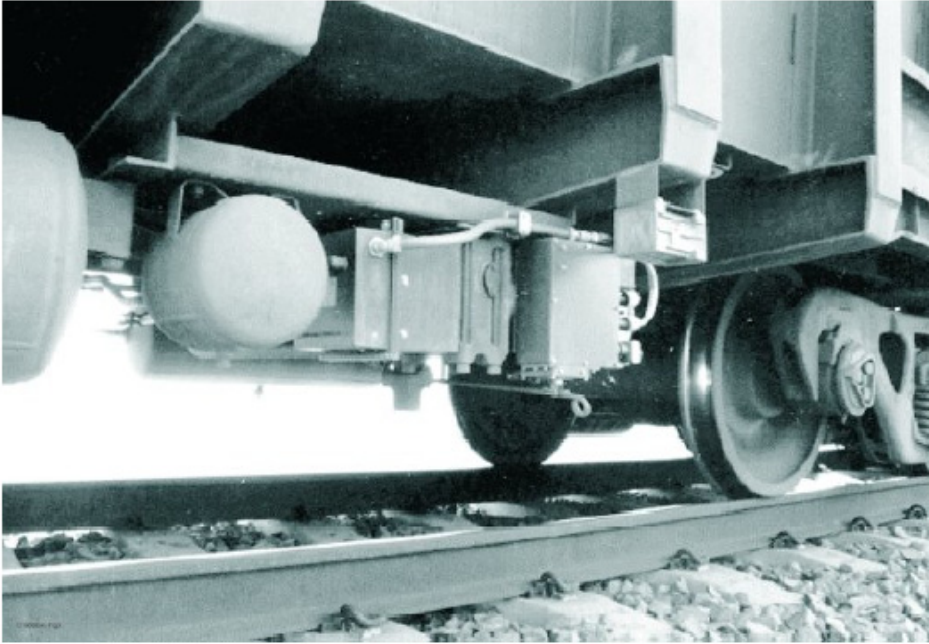


Figur 20 Hoppsekvensen anpassas för optimal funktion och säkerhet. En vagn med kommunikationsfel hoppas förbi. [Figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]

Tiden det tar för ett signalmeddelande att utbreda sig längs tåget beror på repetitionsmönstret, lokala radioförhållanden och längden på tåget. Utbredningstiden blir längre än vid den kabelbaserade ECP-bromsen och kan normalt vara ca 1 till maximalt 2 sekunder. Bromskommandot kan alltså nå de bakre vagnarna upp till 2 sekunder senare än de främre i ett mycket långt godståg av AAR-typ. Men detta är ändå en mycket kort tid jämfört med motsvarande tid för den den pneumatiska bromsen där det kan ta ca 8 - 12 sekunder.

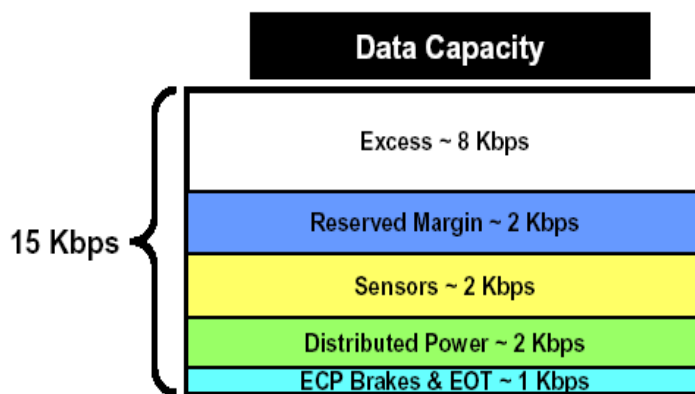
Figur 21 visar installationen. Antennen i form av en box är fäst på tvärbalkens undre sida nära balkens yttre ända.

Reaktionstiderna för bromscylindertrycket är de samma som för kabelbaserad ECP-broms. Med hänsyn till att signalens utbredningshastighet är lägre vid radiobaserad ECP än vid kabelbaserad där samtliga CCD nås av bromskommandon samtidigt är reaktionstiderna för bromscylindertrycket i detta fall förklarlig.



Figur 21 Radiobaserad ECP-broms med CCD och antenn<sup>55</sup>

Datakapaciteten är totalt ca 15 kbit/s. Figur 22 visar hur datakapaciteten disponeras för olika uppgifter och att det finns kapacitet över för t ex övervakning av fordon och last. Integrerad fjärrstyrning av lok (Distributed Power) ingår ännu inte i den radiobaserade ECP-systemet men finns med i figuren. GE-HARRIS saluför sedan många år ett fristående radiobaserat system för fjärrstyrning vid fördelad dragkraft (DP) kallat Locotrol (se rapporten Fördelad dragkraft).



Figur 22 Datakapacitet för GE-HARRIS radiobaserade ECP-bromssystem. [figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]

## 5.6.2 Väckning och länkning via bromsledningen

Metoden för att väcka systemet, initialisera och för länkningen skiljer sig från den kabelbaserade ECP-bromsen. Den använder den elektriska spänningen på trainlinekabeln

<sup>55</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

för detta (se 5.5.3.3 respektive 5.5.3.4). Vid den radiobaserade bromsen som saknar kabeln har man valt att istället använda den pneumatiska huvudledningen genom tåget. För att ”väcka” (wake up) noder då systemet skall startas upp används alltså tryckluften i huvudledningen.

För länkning av tåget (Linking process) och för att kunna sekvensordna vagnarna används luftpulser med en amplitud på 1,5 psi och en varaktighet på ca 50 ms. *HEU*, *CCD* och *Dual Mode Highly Visible Marker (DMHVM)* (den motsvarar EOT-enheten) ska kunna detektera luftpulserna och på nätet meddela pulsernas karakteristik, sin egen (fordonets) identitet och fordonets längd. Dessa enheter skall också kunna generera sådana pulser och pulståg.

*Dual Mode Highly Visible Marker (DMHVM)* kan fungera på två sätt:

- I länkad (linked) mode ingår DMHVM i ECP-systemets radiokommunikation via Train Talk-nätet.
- I olänkad (unlinked) mode fungerar den som en konventionella EOT med tvåvägs radioförbindelse för användning i konventionellt bromsade tåg.

Den kan bäras av en person och fästs på kopplet i tågets bakre ända.

*End OF Train (EOT)* enheten (se 2.3.6) övervakar trycket i bromsledningen vid tågslutet samt rapporterar detta till HEU. Den kan på kommando från främsta loket släppa ut luft från huvudledningens bakre ända. EOT är den fysiskt sista noden i tåget och sänder periodiskt statusmeddelanden (bromsledningstrycket) till HEU.

## 5.6.3 Elkraftförsörjning vid emulerande ECP

### 5.6.3.1 Elkraftgenerering ombord på vagnarna

Godsvagnar med emulerande ECP-broms, oavsett om den är av kabelbaserad eller radiobaserad typ, måste ha egen kraftgenerering ombord (*on board power generation*) för att CCD-enheten med mikrodator, givare, elektriskt styrda ventiler mm skall kunna fungera i tåg som saknar elförsörjning via Train Line kabel. Den kabelbaserade behöver det åtminstone i konventionellt bromsade tåg medan den radiobaserade behöver det i både ECP-bromsade tåg och i konventionellt bromsade tåg. Att använda enbart ackumulatörer går inte eftersom elkraften skall räcka under mycket lång tid.

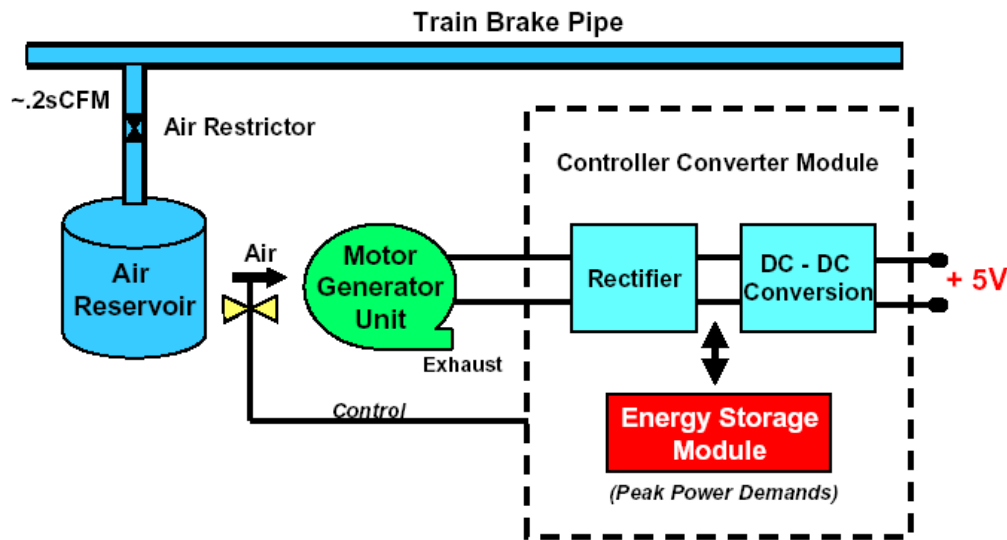
De första systemen med emulerande ECP-broms var utrustade med axelgeneratorer och batterier. Om vagnen stått länge, ingen ström fås via kabel och dessutom batteriet är urladdat finns ingen ström ombord och CCD:n samt emuleringen kan inte börja fungera förrän vagnen redan är i rörelse. Alltså kan man i ett sådant utgångsläge inte ”väcka” och initiera bromssystemet. Systemet fungerar då vare sig i ECP-mod eller som emulerande system i konventionella tåg. Därför behövs en generator som startar och genererar ström redan innan vagnen rullar. Axelgeneratorerna som tidigare provades hade också bristande driftsäkerhet. Andra former av generatorer övervägdes, t ex sådana som tar sin energi från vibrationer men de ger inte heller någon energi då vagnen står stilla. Solceller har inte heller varit något lyckat alternativ.

### 5.6.3.2 Tryckluftdriven elgenerator

En metod som ligger nära till hands är att utnyttja tryckluften i huvudledningen. Så snart ledningen kopplats genom tåget kan samtliga vagnar få tillgång till tryckluft. En luftturbין driver generatoren. Generatoren behöver inte gå kontinuerligt. En

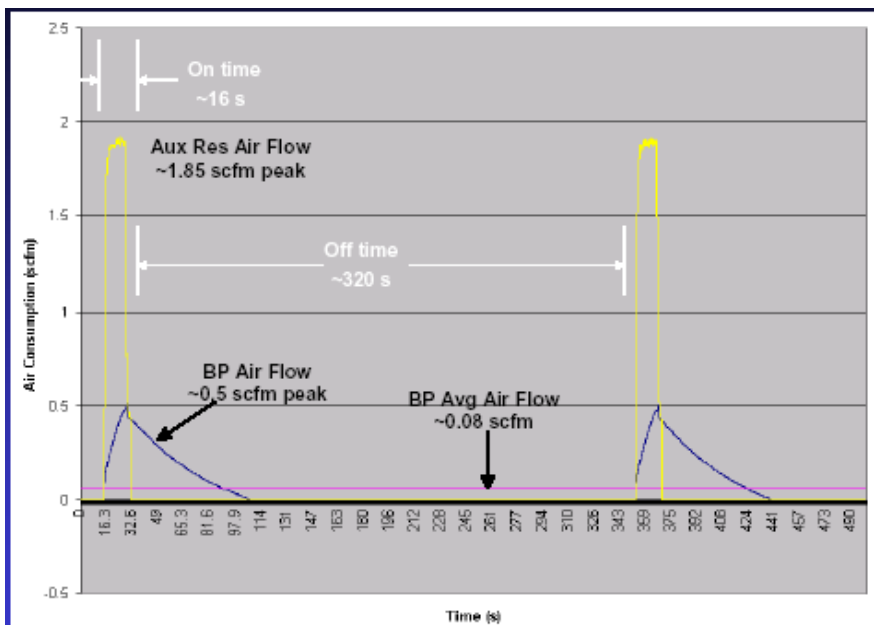
kontrollanordning styr turbingeneratoren så att den går intermittent allt efter behov. En fördel är att energi för att driva turbinen under tillräckligt lång tid finns lagrad i förrådsluftbehållaren. Det elektriska batteriet med stor elektrisk lagringskapacitet har därför kunnat ersättas av ett enklare, lättare och miljövänligare kondensatorbatteri (ultra capacitors). Både GE-HARRIS och Zeftron (som utvecklat en kabelbaserad ECP-broms) använder tryckluftdrivna turbingeneratorer för sina emulerande ECP-bromssystem för godsvagnar.

Figur 23 visar principen för den turbingenerator som ingår i GE-HARRIS radiobaserade ECP-bromssystem.



Figur 23 Luftturbindriven generator vid GE-HARRIS radiobaserade ECP-broms EPx™[figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]

Som framgår av diagrammet i figur 24 går turbingenerator i GE-HARRIS system intermittent (ON/OFF) med ca 16 sekunders till- och 320 sekunders från-tid, dvs. med en intermittensfaktor på ca 4,8 %. Medelförbrukningen av luft blir därför liten. Om trycket i huvudledningen försvinner kan turbingeneratoren fortsätta att elförsörja systemet på vagnen i ytterligare ca 30 minuter, genom att luften tas från förrådsluftbehållaren (Auxiliary Reservoir). för att driva turbingeneratoren.

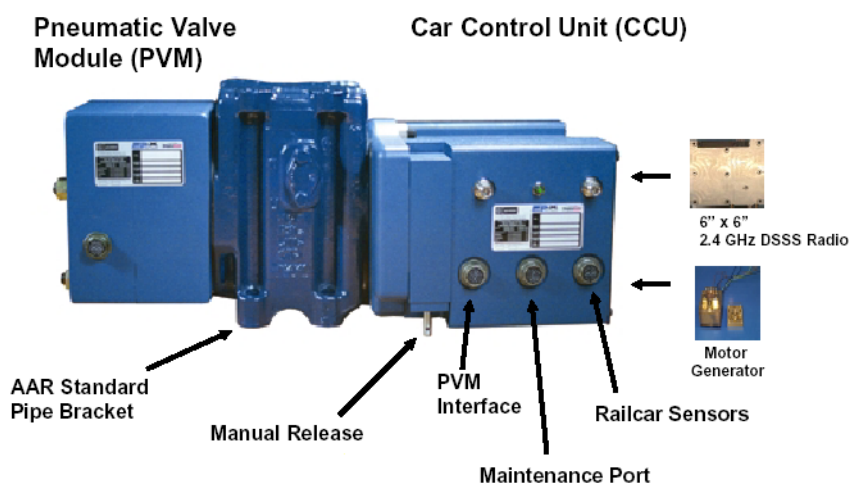


Figur 24 Luftförbrukningen för luftturbinen med generator. [figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]

### 5.6.4 Kompakt ECP-modul ger smidig installation

Figur 25 visar GE-HARRIS CCD-enhet med turbingenerator, kondensatorbatteri, styrventilen mm. Detta är integrerade i en kompakt ”selfcontained” modul som monteras på den tidigare styrventilens plats. Endast de två korta antennkablarna ut till antennerna som är placerade på vardera sidan av vagnen behöver dras.

#### EP<sup>x</sup>® Universal™ Control Valve



Figur 25 GE-HARRIS CCD-enhet för radiostyrd ECP-broms. [figuren från GE Transportation Systems Global Signaling LLC]



## 5.7 Kabel eller radiobaserad ECP-broms?

### 5.7.1 Tiden är inne för att välja system

Ett vägval måste förr eller senare ske inom AAR mellan kabelbaserad och radiobaserad ECP-broms. I realiteten torde den kabelbaserade ECP-bromsen ha vunnit kampen.

AAR arbetar överhuvudtaget inte med den radiobaserade lösningen. De två systemen är inte kompatibla och interoperabla med varandra. Det kan knappast finnas plats för två olika framtida system som inte kan fungera tillsammans inom det gemensamma järnvägsnätet på den amerikanska kontinenten och inte på någon annan kontinent heller. När endera av de två systemen fått tillräckligt stor dominans och övervikt kommer det rimligen att väljas av nya tidiga kunder som vill försäkra sig om att välja det system som väntas bli den framtida standarden. Denna situation har troligen uppstått redan för flera år sedan till förmån för det kabelbaserade alternativet.

Även om den radiobaserade ECP-bromsen erbjuder speciella fördelar för den allmänna godstrafiken med dess omfattande rangering och koppling av fordon så har detta inte påverkat utvecklingen hittills i USA. All försöksverksamhet med ECP-bromsar har skett och sker fortfarande med systemtåg för kol- eller malmtransporter där tågen hålls samman. Där spelar ett smidigare system för koppling och rangering inte så stor roll. För övrigt måste i båda systemen luftledningen kopplas för hand vid de försök och tillämpningar med ECP-bromsar som förekommit hittills. I det amerikanska automatkopplet av AAR typ ingår nämligen inte automatisk koppling av luft- och elledningar. Det anses dessutom vara svårt att integrera luft- och elledningar i ett framtida variant av Janney- (även kallat Knuckle-) koppel som används i Nordamerika.

Ett nytt automatkoppel inom UIC skall enligt kraven kunna kopplas mot det ryska automatkopplet SA-3. Dessutom ska det inkludera automatisk koppling av luft- och el-/signalledningarna. Med ett väl fungerande sådant UIC-koppel kan den kabelbaserade ECP-bromsen bli lika smidig att hantera som den radiobaserade.

Med kabelbaserad ECP-broms kommer man ifrån många problem med frekvensval, gemensamma frekvenser för internationell och interkontinental trafik, rättigheter till frekvenser i olika länder, radioförbindelsens funktionssäkerhet i besvärlig terräng och risken för radiostörningar och interferenser från andra tåg och annan verksamhet. Tillverkare av ECP-system

Några av de pionjärföretag som var med från början har med tiden blivit uppköpta av de stora bromstillverkande företagen. Det finns ett unikt ID-nummer som tilldelats varje tillverkare (Manufacturer ID, med en 8 bitars kod). ECP-systemet ska kunna identifiera tillverkare och programvaruversioner hos de ingående fordonen vid tågbildningen för att säkerställa att samtliga fordon i tåget är utrustade med hård och mjukvaror som kan fungera tillsammans.

Det är fem företag i ECP-branschen som tilldelats följande ID-nummer:

1. NYAB, New York Air Brake, Watertown, NY
2. EMD, Electro Motive Division (ECP-produkter för lokomotiv)
3. Wabtec, Wilmerding, Pennsylvania
4. Zeftron, Montgomery, Illinois
5. GETS-GS (GE-HARRIS) GE Transportation Systems Global Signaling

Tabell 3 visar ECP-tillverkarna och deras ECP-varianter med produktnamnen inom parentes.

Tabell 3 Tillverkare av ECP-bromsar samt produktvarianter enligt AAR Manual of Standards and Recommended Practices. ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) CABLE-BASED BRAKE SYSTEM–PERFORMANCE REQUIREMENTS, Standard S-4200 (enl. AAR spec S-4200)

Tillverkare	Signalmedium	Overlay	Emulerande	Stand Alone
NYAB	Kabel	JA (EP-60)	Nej	Ja (EP-60)
Wabtec	Kabel	Ja (ECP-4201A)	Nej	Ja
Zeftron	Kabel	Nej	Ja (Chameleon)	Nej
GE-GTS (GE-HARRIS)	Radio	Nej	Ja (EPx™)	Nej

Zeftron som utvecklat den kabelbaserad emulerande ECP-bromsen ”Chameleon” har under de senaste åren inte synts i litteratur och tidskrifter. Nyligen meddelade företaget att man ansåg att utvecklingen av ”Chameleon” var klar. Man försöker hitta ett företag med större ekonomiska resurser för att lansera denna ECP-broms kommersiellt.

GE-HARRIS radiobaserade ECP-broms torde i realiteten vara nedlagd.

Den beskrivning som gjorts av den amerikanska radiobaserade ECP-bromsen kan dock vara av intresse om radiobaserade system i framtiden skulle bli aktuella i Europa. En radiobaserad lösningen ingick nämligen liksom en kabelbaserad i det europeiska FEBIS projektet (se 6.3). Mot ett radiobaserat system talar att Europa så fall inte kan utnyttja teknik och produkter som redan utvecklats och som kommer att tillverkas i stora serier i USA och därmed kan erbjuda låga priser.

## 5.7.2 För- och nackdelar hos de två alternativen

För- respektive nackdelar med den kabelbaserade ECP-bromsen är:

- + Enkelt och billigt signalmedium
- + Standarden och kommunikationsprotokollet är öppet för alla tillverkare
- + Flera tillverkare driver fram priskonkurrens och den tekniska utvecklingen
- + Inget behov av kraftgenerering på vagnarna (gäller ej emulerande ECP)
- + Ej känslig för radiostörning eller beroende av radiotopografen
- Systemet slutar fungera vid signalavbrott på kabeln
- Farlig spänning på kabeln medför risker och kräver elbehörighet vid reparationer
- Ett stort antal kontaktdon skall manuellt hanteras vid tåg.- (om-) bildning

För- respektive nackdelar med den radiobaserade ECP-bromsen är:

- + Inget elkabel som behöver kopplas mellan vagnarna
- + I USA kan upp till 15 % av vagnarna tillåtas få radiofel/ECP-fel under resan
- + Luftturbin, inga elektriska ackumulatörer som kräver service och laddning
- + Låg elektrisk spänning, ofarlig och kräver inte elbehöriga reparatörer
- Dyrare och mer komplicerad än kabelbaserad
- Radiokommunikationen kan störas och råka ut för temporära avbrott
- Det finns bara en tillverkare som äger det kommunikationsprotokoll som används

### 5.7.3 Funktionsmöjligheter vid broms- eller signalfel

Det har framförts i någon tidskriftsartikel och vid någon konferens att den radiobaserade ECP-bromsen i princip kan tillåta att ett antal konventionella (inte ECP-utrustade) vagnar eller vagnar med fel på ECP-utrustningen, även med kommunikationsfel, ingår i ett ECP-bromsat tåg, bara tillräcklig bromsverkan/bromstal erhålls i tåget. Den radiobaserade ECP-bromsen är konstruerad för att uppfylla gällande federala bestämmelser i USA utfärdade av FRA<sup>56</sup>. Bestämmelserna kräver att 100 % av vagnar måste ha fungerande bromsar då tåget lämnar utgångsstationen. Sedan tåget lämnat utgångsstationen gäller att högst 15 % av vagnarna tillåts få fel på bromssystemet för att tåget skall få fortsätta. Därför är det på ett sätt riktigt att den radiobaserade ECP-bromsen kan användas i tåg där inte alla vagnar har fungerande ECP-broms. Men det kan även den kabelbaserade ECP-bromsen.

Vid avbrott på train line kabeln tappas kontakt mellan de två kommunikationsmässigt separerade grupperna. Det leder till att tåget stoppas och inte kan fortsätta i ECP-mod.

Där har den radiobaserade ECP-bromsen en klar fördel. Den viktiga skillnaden är radiomeddelandena kan hoppa förbi vagnar med radiofel. Radiofel på enstaka vagnar kan därför inkluderas i de 15 % av vagnarna som tillåts ha felaktiga bromsar i tåget.

Kan en konventionell godsvagn likställas en med vagn som saknar fungerande ECP-broms och/eller fungerande radio? Kan den i så fall ingå bland de 15 % av fordonen med bromsfel, om det inte hindras av myndighetsbestämmelser i det aktuella landet?

Problemet ligger i de processer som används vid den automatiska initieringen vid tågbildningen. Alla ECP-utrustade vagnar deltar i kommunikationen vid initieringen av systemet, dvs. identifieringen av ingående fordon i kommunikationsnätet och bromsledningen, rangordningen efter ordningsföljd etc. Vagnarna lämnar datauppgifter om vagnen och dess system till HEU som behövs för tågbildningen. Detta fungerar inte om konventionella vagnar eller vagnar med fel på utrustningen ingår vid tågbildningen.

Konstruktionen av det radiobaserade ECP-systemet kan visserligen modifieras för att upptäcka konventionella vagnar som ingår i tåget, men det medger ändå inte att de automatiska funktionerna som används vid tågbildningen fungerar<sup>57</sup>. Då återstår möjligheten att manuellt skapa eller på något vis komplettera databasen genom manuell inmatning av data om ingående fordon. Detta ingår inte alls i nuvarande specifikationer och det är tveksamt om det är praktiskt möjligt och lämpligt.

---

<sup>56</sup> FRA, Federal Railroad Administration

<sup>57</sup> R J Foy, GE-HARRIS Railway Electronics, L.L.C, Privat kommunikation.

## 5.7.4 Det aktuella marknadsläget för ECP-bromsar

Alla försök har hittills skett med systemtåg av typ heavy haul för kol, malm etc.

BNSF har visat ett visst intresse för att prova ECP-bromsar för double-stack containertåg, men ännu finns inga konkreta planer. ECP-bromsar är ännu inte godkända och certifierade för öppen och allmän samtrafik, se 5.1.

Endast Spoornet i Sydafrika, har hittills beslutat att göra en fullständig omställning till kabelbaserad ECP-broms. Det gäller koltrafiken på Ermelo - Richards Bay där man väljer att införa ECP-bromsar av typ stand alone (all electric). De har i november 2003 begärt in offerter från olika tillverkare för att konvertera ca 200 lok och 6700 vagnar för koltransport. Omställning väntas vara genomförd till år 2007.

I Australien har Queensland Rail börjat förse ett antal elektriska lok med ECP-bromsar från Wabtec som tror att man kommer att under 2004 försätter med att börja förse vagnar med ECP-bromsar eller till en början bara med Train Line kabelsystem<sup>58</sup>.

Kina har visat intresse för att införa ECP-bromsar. Regeringen granskar ett förslag att konvertera ca 200 lokomotiv och 8000 koltransportvagnar. För försök med ECP-bromsar skulle först ett okänt antal lok och 200 vagnar utrustas. Men total torde omställningen omfatta ca 20 000 vagnar för kolerport enligt New York Air Brake<sup>59</sup>.

Att ECP-bromsar hittills bara har provats inom Heavy Haul systemtågstrafik kan beror på flera saker, t ex:

- Det är i första hand de långa och tunga tågen systemtågen som har stora problem med den pneumatiska bromsen
- ECP-bromsade tåg kan höja transportkapaciteten och vara ett alternativ till att skaffa fler lok och vagnar eller till att investera i dubbelspår
- Den ekonomiska nyttan av förbättringen kommer den till del som bekostar försöket (t ex gruvbolaget som i en del fall äger vagnar, lok och ibland även banan)
- Denna trafik har bättre lönsamhet som kan bära kostnaden för försöken
- Det är lättare att införa ECP-broms vid avskilda och sammanhållna systemtåg, där ett speciellt tåg som hålls samman kan utrustas för prov
- Det är lättare att lägga upp försöken och att göra utvärderingen när man kan jämföra likadana systemtåg med respektive utan ECP-broms och där tågen går i exakt lika trafik och omlopp
- Vid eventuella störningar och fel så drabbas bara den egna banan och trafiken

---

<sup>58</sup> RA, januari 2004, sid 73.

<sup>59</sup> RA, januari 2004, sid 73.

## 5.8 Försök med AAR ECP-bromsar

Ett stort antal tillämpade försök med ECP-bromsade tåg i kommersiell trafik (revenue tests) på olika järnvägar finns omnämnda i fackpressen, främst i *Railway Age* (RA) men också i *International Railway Journal* (IRJ), *Railway Gazette International* och *Progressive Railroading* samt i publikationer från konferenser som behandlat ämnet. Här nedan redovisas ett antal av dessa försök som beskrivits i tidningsartiklar sedan 1998. Samtliga försök gäller kabelbaserad ECP-broms om inget annat sägs.

Fram till 1998 utfördes alla försök med *ECP-bromsar* av typ *overlay*. Med *overlay* finns ett fungerande komplett pneumatiskt bromssystem med konventionell styrventil kvar som reservsystem på samtliga vagnar i tåget.

Intresse fanns redan 1998 att prova *Stand Alone ECP-bromsar* vid följande järnvägar BNSF (Burlington Northern Santa Fe), NS (Norfolk Southern) och CSXT (det största järnvägsbolaget i östra USA). Men *Stand Alone* uppfyller inte gällande federala bestämmelser (FRA) inom USA. Det behövs därför speciellt tillstånd från FRA (Federal Railroad Administration) för att göra undantag från dessa regler. Några försök med *Stand Alone ECP-bromsar* i praktisk trafik har hittills inte skett i USA. Däremot sker försök på en järnväg för malmtrafik QCM, Quebec Cartier Mining Company i Kanada sedan 1998 och Spoornet håller nu på att göra ett totalt byte till *Stand Alone ECP-broms* för hela sin koltrafik på linjen Ermelo-Richards Bay med anslutande matarlinjer. Det berör ca 200 lok och 6700 koltransportvagnar.

I det följande beskrivs ett antal försök med ECP-bromsar. Från några av försöken har resultat publicerats. Dessa redovisas separat i 5.9.

### 5.8.1 TTCI provtåg (FAST train)

Transportation Technology Center, Inc., som ligger i Pueblo, Colorado är AARs testcenter. De har sedan 1996 provat ECP-broms på "the FAST-train". FAST står för Facility for Accelerated Service Testing. Tåget körs intensivt på en slinga för att på en begränsad tid utsättas slitage och påkänningar som motsvarar långvarig användning. Endast den kabelbaserade ECP-bromsen har hittills provats. Det planerade provet med radiobaserad ECP-broms har inte kommit till stånd och verksamheten med radiobaserad ECP ligger tills vidare nere på den ekonomiska nedgången i USA.

Tåget utrustades 1996 med ECP-utrustning från dåvarande TSM, ett företag som sedermera inlemmats i Wabtec. År 2000 uppdaterades utrustningen till Wabtecs aktuella konstruktion. Med den senare utrustningen tillkom bl a det moderna utförandet på styr- och kontrollutrustningen i förarhytten. Förarpersonalen är mycket nöjd med systemet liksom växlingspersonalen. Tiden som behövs för att lägga till eller ta bort vagnar ur tåget och därefter göra erforderliga åtgärder (bromsprov, bromstalsberäkningar och motsvarande) har minskat betydligt (RA, januari 2002).

### 5.8.2 Försök vid BNSF

*BNSF (Burlington Northern Santa Fee)* tidigare Burlington Northern, var första järnväg som provade en prototyp redan 1994. De hade redan 1998 14 olika tåg i kommersiell försökstrafik utrustade med ECP broms. Det var systemtåg för kol, taconite, säd och ett intermodalt tåg. Det intermodala tåget används inte längre med ECP-broms och vagnarna har skingrats. Det var det dåvarande företaget TSM, vars ECP-bromsar först provades och infördes på BNSF. TSM uppgick senare i Rockwell som senare kom att ingå i Wabtec.

BNSF utrustade i mars 1999 ett systemtåg för malm och taconite i Superior, Wisconsin med overlay EP-60 ECP-bromsar från NYAB. BNSF avsåg att under år 2001 utrusta ytterligare 5 koltåg som går mellan Powder River Basin och norra Minnesota med samma typ av bromsar. Det rörde sig om 85 lok typ EMD SD70MACs och 600 kolvagnar (RA, januari 2001).

Malmtåget har fungerat bra, men det har varit svårigheter med att samla in data från försökstrafiken eftersom tåget körs omväxlande med konventionell tryckluftbroms och med ECP-broms, beroende på om det finns tillgång på lok med ECP-broms. Det innebär att t ex slitage o s v inte går att entydigt hänföra till att tåget körts med konventionell respektive med ECP-broms.

BNSF slog den 18 juni 2001 ett rekord då man körde sitt tyngsta tåg någonsin. Det var ovannämnda malmtåg med ECP-broms, som då hade en last av 20484 ton taconite som transporterades från National Steels anläggning i Keewatin till hamnen i Allouez för vidare transport med fartyg.

Marknadsgruppen för intermodal trafik vid BNSF har visat intresserade för att prova ett ECP-bromsat tåg. Men innan man fattar beslut om att införa ECP-bromsar på ett intermodalt tåg måste det övervägas noga eftersom vagnarna i tåget inte hålls samman som i systemtågen för kol eller malm. I juni 2002 uppgavs att BNSF förutom malmtåget hade ca 8 koltåg med ECP-broms i trafik.

### 5.8.3 Försök vid Union Pacific

UP, (*Union Pacific*) hade 1998 testat ett tågsätt med double stack, d v s med två containerar lastade i höjdlid utrustat med ECP-bromsar. De var imponerade av egenskaperna men intog en avvaktade hållning och väntade på andra bolags försöksresultat.

### 5.8.4 Försök vid Amtrak

Amtrak hade 1998 börjat försök med ett tåg med overlay ECP-utrustning från dåvarande TSM/Rockwell (numera Wabtec). Under 2000 började prov med Wabtec ECP-broms på Amtrak Auto Train. Möjligen rör det sig om samma försök och tåg.

### 5.8.5 Försök vid NS och CPR

NS (Norfolk Southern) och CPR (Canadian Pacific Railroad) avsåg att prova ett tåg med ECP-broms från TSM under 1997 – 98 men NS prov blev enligt uppgift inställda eller uppskjutna medan det tågsätt som CPR hyrde kördes i pneumatisk mod. Orsaken var två tekniska problem, dels att den anordning (event recorder) som skulle registrera information från ECP-systemet inte fungerade, dels ett fel i ECP-bromsens programvara som gjorde att både ECP-systemet och det pneumatiska bromssystemet interfererade och samtidigt styrde bromsarna.

### 5.8.6 Försök vid Southern Co

Southern Co är ett elkraftbolag som äger ca 9000 vagnar för transport av kol, varav ca 1300 var utrustade med ECP-bromsar år 1998. Bolagets vagnar trafikerar flera järnvägar, BNSF, CSX Transportation, NS och UP. Southern Co försöker påverka dessa järnvägar att investera i ECP-bromssystem.

Southern Co har senare önskat utöka ECP-bromssystemet till att omfatta olika givare för annan övervakning i vagnarna, ”*smart wagon*”. Wabtec har därför inkluderat en vertikal accelerometer i senare system för att upptäcka urspårning och allvarligare fel på vagnarna. Wabtec planerar också att införa givare för kontroll av handbromsens läge för

att minska risken för att tåget körs med handbromsen dragen på någon vagn med hjulplattor som följd.. Det finns planer på att genom ECP-systemet fjärrstyra de pneumatiskt manövrerade bottenluckorna för tömning av kolet<sup>60</sup>.

### 5.8.7 Försök vid CSX Transportation

I november 2000 började CSXT köra ett systemtåg om två GE AC4400 dieselelektriska lok och 95 kolvagnar (ägda av Southern Co) med samma typ av Wabtec overlay ECP-bromsar som används vid Spoornets koltrafik. Detta uppges vara det första kabelbaserade ECP-systemet med den nya transcievern PLT-22 från Echelon<sup>61</sup> (se 5.5.2)

Försöken med ECP-broms vid CSXT/Southern Co inkluderar prov med *pålok (pusher locomotives)*, d v s lok som skjuter på under en del av en sträcka där det är stigningar som kräver mera dragkraft. Det görs med en speciell ECP-variant av Wabtecs *TrainLink-ECP* EOT-enhet (se 4.5.1) samt deras *HelperLink* på påloken. *TrainLink-ECP* EOT-enhet på den sista vagnen eller fordonet i tåget tar emot bromskommandon som kommer på ECP-systemets Train Line-ledning samt återutsänder dessa via radio till *HelperLink* ombord på de påskjutande loken. Detta tillåter dels att man använder pålok som inte är utrustade med ECP-bromsar, dels att man kan avbryta påskjutningen under rörelse och återvända med påloken (*release on the fly*) eftersom bromsslängarna ej behöver kopplas mellan tåget och påloken. Med anordningen *On-the-Fly* kan föraren på det påskjutande loket koppla loss det från tåget<sup>62</sup>. (*HelperLink* och *On-the Fly* beskrivs i rapporten *Fördelad dragkraft*, avsnittet 9.1)

### 5.8.8 Försök vid QCM

Quebec Cartier Mining Company i Kanada har sedan februari 1998 ett malmtåg med 156 malmvagnar och tågvikt 20000 ton utrustat med NYAB EP-60 *Stand Alone ECP-broms*. Bromssystemet är av prototypkaraktär. Detta är det enda tillämpade försöket som skett med *Stand Alone ECP-broms*, vilka ännu inte är tillåtna att användas i USA.

Under 2001 avsåg QCM att låta NYAB uppgradera försökståget, som dittills provats under 3 år, med den nya transcievern PLT-22. Vidare beställde QCM 12 nya GE AC4400 dieselelektriska lok med trefas asynkronmotorer utrustade med NYAB ECP-broms med den nya transcievern PLT-22 och HEU, integrerad bildskärm och registreringsutrustning för händelser (event recorder) för leverans under våren 2002<sup>63</sup>.

Försöksresultat i avsnitt 5.9.1.

### 5.8.9 Försök vid Western Fuels Association

Western Fuels Association, New Mexico, började i december 1999 försök med ett systemtåg för kol utrustat med Zeftrons emulerande ECP-bromssystem Chameleon.

Tågsättet består av tre EMD SD40-2 dieselelektriska lok och 52 vagnar. Transportsträckan är 139 km från kolgruvan till ångkraftverket. (IRJ April 2000).

---

<sup>60</sup> IRJ, augusti 2001

<sup>61</sup> RA, Januari 2001, sid 56

<sup>62</sup> RA, Januari 2001, sid 56

<sup>63</sup> RA, januari 2002

I januari 2001 rapporterades att försöken fortsatte på sitt andra år utan problem och utan att tåget dittills behövt tas ur drift p g a fel<sup>64</sup>.

## 5.8.10 Försök vid Spoornet i Sydafrika

Spoornet, Sydafrika, började i april 1999 införa Wabtecs overlay ECP-broms med integrerad DP (Distributed Power) dvs. fjärrstyrning av lok, på ett systemtåg för kol på COALink, linjen Ermelo-Richards Bay, 400 km, för att påbörja försökstrafik under våren 2000. Banan är smalspårig med spårvidden 1067 mm men är en heavy haul järnväg med mycket långa och tunga tåg. Såväl elektrisk drift med växelström (25 kV, 50 Hz) och likström (3 kV) som med diesellok används på olika avsnitt av bansystemet.

De besvärliga lutningsförhållandena är sådana att på vägen från kolgruvorna ned till kusten utvecklas mera energi i bromsarna än vad det lastade tåget behöver för sin framdrivning. Spoornet vill använda ECP-bromsar med integrerad DP för att förhindra att koppel brister och att tågen delas med risk för urspårningar samt i övrigt förbättra och effektivisera trafiken

Man redan tidigare har man uppnått den lägsta kostnaden per nettoton/mile bland alla världens järnvägar enligt en studie av Mercer Management Consulting. Men det har tidigare inte varit möjligt att uppnå ytterligare förbättringar, främst pga. tekniska begränsningar som ojämn fördelning av bromskrafterna i tåget, långsam ansättning av bromsarna längs tåget och risken för utmattningsavbrott av bromsen. Man använder en konventionell tryckluftbroms av AAR direktlossande typ. Det konventionella bromssystemet medför säkerhetsrisker som höga koppelkrafter, överhettade hjulringar och ökad risk för urspårning.

Dessa försök samt de förberedande undersökningarna där en mängd prov med långa tåg, segmentiell körning mm gjorts är synnerligen intressanta och har presenterats i ett antal föredrag vid kongresser och i artiklar (se litteraturlistan). Denna trafik är också intressant av det skälet att det inte bara rör sig om skytteltrafik på en huvudlinje. Det rör sig om ett grenat nät där små tågsätt om ca 8 – 10 vagnar längst ut vid vissa gruvor och lastplatser sedan går vidare på matarbanor i större tåg om 50 eller 100 vagnar och slutligen bildar mycket stora tåg om 200 vagnar på linjen Ermelo–Richards Bay.

Det förekommer på vissa linjer drift med mindre eller större diesellok som ägs av gruvbolag eller av Spoornet, samt banor med 3 kV likströmsdrift och på huvudlinjen växelströmsdrift med 25 kV, 50 Hz. På denna bana förekommer två typer av ellok samt diesellok som samkörs fjärrstyrda i samma tåg. Detta är den första användningen av AAR ECP-broms på elektrifierad linje.

Speciell uppmärksamhet har ägnats åt risken för elektromagnetisk interferens från kontaktledningen så att inte en inducerad spänning på 50 V (maximalt enligt lag) skall överskridas i Train Line kablarna. Risken beror på vilken typ av elektrifiering den aktuella banan har (spänning, frekvens osv.), längden på tåget mm. Den sammanhängande längden på staket och skärmda kablar längs banan begränsas av samma skäl till max 5000 fot (1500 m.). Train Line kabeln är skärmd och dras dessutom i ett 1” stålrör under vagnarna för att skyddas mot störningar och inducerad spänning. Personal är utbildad att betrakta kabeln som spänningsförande när vagnar skall kopplas även om inte något lok är tillkopplat. Misstanke finns att några sporadiska fall av nödbromsning som inträffat kan ha berott på elektromagnetiska störningar. Detta

---

<sup>64</sup> RA, Januari 2001, sid 57



kan vara en potentiellt störningsrisk för den kabelbaserade ECP-bromsen liksom för den integrerade fjärrstyrningen av lokomotiven (DP) vid elektrifierade järnvägar<sup>65</sup>.

Försöken beskrivs i avsnitt 5.9.3.

### 5.8.11 Försök vid DM&IR

DM&IR, Duluth, Missabe & Iron Range är en regional järnväg som avser att byta ut 1500 st 50 år gamla vagnar mot nya under år 2003 och 2004. Eftersom man vill att de nya vagnarna skall vara utrustade för både konventionell och ECP-användning började man testa Zeftrons emulerande ECP-broms, Chameleon, på en vagn i ett 58 vagnars tåg utan ECP-broms. Tåget går i avgränsad systemtågstrafik med kalksten från en hamn i Duluth, Minnesota till US Steels stålverk Mintac i Mountain Iron, Minnesota. Under försöken har bromsen fungerat mycket bra även i sträng kyla. DM&IR använder dubbla pneumatiska bromssystem på många vagnar för att säkerställa bromsförmågan i lutningar på upp till 30 %. Dessa extrema förhållanden gör att DM&IR vill prova ECP-broms så snart de har råd att utrusta ett försökståg, vilket de räknade med att kunna göra under 2002<sup>66</sup>.

### 5.8.12 Queensland Rail, Australien

I augusti 2002 skrevs ett kontrakt mellan Wabtec och Queensland Rail, Australien för leverans av ECP-system för att uppgradera 68 elektriska lok som användes för tunga systemtåg i koltransporter. Den elektroniska utrustningen kan användas för att styra såväl pneumatiska bromsar som ECP-bromsar av AAR-typ samt för kabel- eller radiostyrning av en speciell EOT-enheten (Wabtecs TrainLink-ECP, se 4.5.1) med fjärrstyrd extra luftutsläppsventil för snabbare och bättre tågbrömsning vid konventionell pneumatisk broms. Med denna utrustning kan man köra ECP-bromsade tåg när man får tillgång till ECP-bromsade vagnar (Wabtec pressrelease, 2002-08-12). Den elektroniska utrustningen kan inledningsvis användas med radiofjärrstyrningen för att styra såväl andra lok som för att förbättra bromsegenskaperna genom en extra fjärrstyrd utsläppsventil i EOT-enheten.

Me denna utrustning kan omställningen till kabelbaserad ECP-broms underlättas och göras i två steg, (se rapporten Fördelad dragkraft, avsnitt 6.3.2):

1. Först utrustas vagnarna med bara Train Line-kabeln men inte ECP-broms. Då kan tågen köras med styrning av DP (fjärrstyrning av bakre lok) och EOT-enheten via kabeln.
2. I steg 2 installeras ECP-broms i vagnarna och man övergår till ECP-bromsning med integrerad DP-styrning.

Fram till vagnarna försetts med kabel och kan köras enligt alternativ 1, kan lokomotiven med den nya utrustningen användas för radiostyrning av DP liksom EOT-enheten.

### 5.8.13 FEC

FEC Florida East Coast testade en prototyp till GE-HARRIS radiobaserade ECP-broms EP<sub>X</sub> i ett tåg med 16 vagnar under ca 6 månader varefter det avbröts. Denna järnväg ligger nära företaget GE-HARRIS. Det torde ha varit fråga om tidiga försök under utvecklingen och inte praktisk försöksdrift i kommersiell trafik.

---

<sup>65</sup> Dave van der Meulen: "Evaluation of Wireline ECP Braking and DP on the Ermelo-Richards Bay Coal Export Line", Presented at 92<sup>nd</sup> Annual Convention, Air brake Association, Chicago, September 2000

<sup>66</sup> RA, Januari 2001, sid 57

### 5.8.14 Försök vid BHP Iron Ore Railroad, Australien

BHP Iron Ore's Pilbara Railroad i Australien har som enda järnväg provat GE-HARRIS radiobaserade ECP-broms EP<sup>X</sup> i kommersiell försöksdrift. Försöken pågick i ca 15 månader, från augusti 1999. Detta försök och några resultat redovisas närmare i avsnitt 5.9.2.

## 5.9 Försöksresultat med ECP-bromsar

Data som samlats in från försöken med kabelbaserad ECP-broms vid QCM malmtrafik i Kanada och från försöken med radiobaserad ECP-broms vid BHP Iron Ore malmtrafik i Australien används av TTCL (Transportation Technology Center, Inc) för att bedöma den ekonomiska nyttan av ECP-bromssystem. En del resultat och erfarenheter har redovisats i tidskrifter, främst Railway Age (RA) och International Railway Journal (IRJ) samt genom föredrag vid World Congress on Railway Research av Brian Smith och Fred Carlson från TTCL.

Resultat från Spoornets försök med koltåg samt redogörelser för de överväganden som gjordes före försöken liksom inför beslutet om en kommande total övergång till ECP-broms redovisas i ett antal informativa artiklar och föredrag från olika kongresser av dr Dave van der Meulen, tidigare vid Spoornet, numera vid Railway Corporate Strategy cc, Sydafrika.

Resultaten och erfarenheterna som redovisas kommer från tillämpade prov med ECP-broms i försökståg i kommersiell trafik. Ett tåg i trafikomloppet är utrustat med ECP-broms medan övriga tåg i omloppen är konventionella. Det ger goda möjligheter till jämförelser mellan bromssystemen om försöken är lämpligt upplagda.

### 5.9.1 Stand Alone ECP-broms vid QCM.

Quebec Cartier Mining (QCM) Railroad bedriver mamtågstrafik. Omloppssträcka är 853 km. Från början användes 156 vagnar i tågsättet, men det kunde senare ökas till 180 vagnar med samma antal lok som tidigare. Lasten kunde ökas med ytterligare 1600 ton och tågvikten är ca 21000 ton. Banan saknar större lutningar utom på de sista delen, som är 97 km lång och som faller med 13 % ned till Port Cartier, Quebec.

Försökståget är utrustat med stand alone ECP-bromsar. Den dynamiska bromsen används för maximal bromsning. Den snabbt reglerbara ECP-bromsen används för att reglera hastigheten. De konventionella tågen däremot gör en lagom avvägd driftbromsning som hålls konstant och använder den dynamiska bromsen för att reglera hastigheten. Eftersom det är lättare att kontrollera hastigheten med ECP-bromsen kan ECP-tåget hålla en hastighet som ligger nära den största tillåtna hastigheten vilket minskar körtiden på den lutande delen av banan med ca 5 minuter. Slitaget på bromsblock och hjul blir lägre för det ECP-bromsade tåget som använder den dynamiska bromsen maximalt och därmed minskar användningen tågbrömsen.

Tabell 4 visar insamlade data under oktober månad år 2000<sup>67</sup>.

---

<sup>67</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

Tabell 4 QCM Försöksdata under oktober månad år 2000

	ECP-broms	P broms	Ändring
Bränsleförbrukning (liter/1000 Mtonkm)	2.652	2.739	- 5.1 %
Falska nödbromsningar	0	169	
Kilometer per bromsblock	56511	44853	+ 26 %

Det ECP-bromsade tåget har alltså ca 5 % mindre bränsleförbrukning och 26 % längre livslängd på bromsblocken än det konventionellt bromsade. Antalet falska nödbromsningar är noll, också det en klar förbättring.

Tabell 5 nedan visar sådana tågförseningar, beräknat per vagn och mile, som beror på bromsrelaterade problem under två skilda perioder. Kontaktdonet för train line kabeln byttes i september 1999 från en tidigare försöksmodell till den nya av AAR specificerade typen och därmed upphörde praktiskt taget problemen med att kabelförbindelsen bröts. I mitten på 1999 hade dessutom vissa problem som hängde ihop med utvecklingen rättats till.

Man förväntade att det skulle bli ytterligare förbättringar när den försöksprototyp som använts vid försöken byts ut mot en serieprodukt vilket var planerat till år 2002.

Tabell 5 Tågförseningar i minuter per vagn och mile<sup>68</sup>

Bromstyp	April 1998 – September 1999	Oktober 1999 – Oktober 2000
ECP- broms	0,172	0,031
Konventionell P-broms	0,033	0,033

## 5.9.2 Radiobaserad ECP-broms vid BHP Iron Ore Railroad i Australien

BHP Iron Ore Railroad i Australien provade början 1999 ett malmtåg bestående av 4 lok och 240 vagnar med en tågvikt på 37500 ton utrustat med den radiobaserad ECP-bromsen EP<sup>X™</sup> från GE-HARRIS. Den var av emulerande typ, d v s den vanliga styrventilen behövs inte utan den enda elektroniska styrventilen fungerar både i ECP tåg och konventionella tåg med P broms. Systemet är helt integrerat ombord och inga markfast repeatrar längs banan behövs för ECP-systemet. Repeatrar behövs däremot för det radiostyrda DP systemet LOCOTROL som är separat och inte är integrerat med ECP-bromsen trots att båda kommer från samma tillverkare. Det var dock meningen att styrningen av DP skulle komma att integreras i det radiostyrda ECP-systemet i framtiden. Det har skett vid den kabelbaserade ECP-bromsen. Försöket avbröts dock efter ca 15 månader pga vissa tekniska barnsjukdomar i systemet Detta var det första och hittills enda tillämpade provet i kommersiell trafik med en radiobaserad ECP-broms.

<sup>68</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

Omloppssträckan är 390 miles (ca 628 km). Det ECP-bromsade tåget kunde minska omloppstiden med en halv timma från 7,6 till 7,1 timmar. Bromssträckan halverades (med -51 % vid olastat tåg och -55 % vid lastat). Denna jämförelse är relativt tåg som redan har förbättrade bromsegenskaper, genom att de är utrustade med GE-HARRIS DP (Distributed Power) typ LOCOTROL, som genom extra luftutsläpp i lok i tågets bakre del, har kortare bromssträcka än tåg med enbart konventionell tryckluftbroms<sup>69</sup>.

ECP-bromsen fungerade bra när den fungerade. Men det fanns vissa problem med att få systemet att fungera. Problemen låg hos strömförsörjningen, som skedde med axelgeneratorer, hos batterierna och programvaran<sup>70</sup>. Sedan dess har GE-HARRIS utvecklat en luftturbindriven elgenerator som tar sin luft från bromsledningen (se 5.6.3.2). Därmed behövs inte batterierna längre. De har ersatts med speciella kondensatorbatterier (ultra capacitors). Även programvaran och annat har förbättrats.

### 5.9.3 ECP-bromsar med integrerad WDP på COALlink i Sydafrika

Försöken har gjorts vid COALlink, Spoornets bana för koltransport mellan gruvor i Ermelo och hamnen i vid Richard's Bay. Banan, som är smalspårig med spårvidden 1067 mm, är 263 miles (423 km) lång och elektrifierad med 25 kV har haft stora problem sedan den öppnades för ca 20 år sedan. Den går i bergig terräng med många tunnlar och har en höjdskillnad på 1.1 miles mellan gruvan och hamnen.

Man har hittills använt ett konventionellt pneumatiskt bromssystem av AAR-typ, i tåg med 200 vagnar, tågvikt ca 20800 ton och loken koncentrerade i tågets framända. Trots iatt man använder pneumatiska bromsar av AAR-typ har man signalsystem av europeisk typ med det relativt korta försignalavståndet 1200 m. Därför krävs en kraftigare utbromsning (högre bromsverkan) än vid normala AAR-förhållanden, vilket medför ännu större spridning av blockkrafterna mellan vagnarna och därmed stora variationer i hjultemperaturen vid långa nerförslutningar där man ibland bromsar oavbrutet under 40 minuter. Likaså är det problem med de långstryckkrafter som uppstår i tåget på grund av bromssignalens långsamma utbredning. Dragkrafterna i tåget som blir stora med all dragkraft lokaliserad i framändan. Det för med sig missöden med avdragna koppel varvid tåget delas, ofta långt fram. Detta utlöser nödbromsning som ger stora långstryckkrafter och ibland leder till urspårningar. I varje ögonblick under färden behöver föraren i sina beslut väga in omgivande linjeförhållanden och tågets förhållanden under en tidsrymd av ca en halv timme. Att köra dessa tåg är därför en påfrestande utmaning för lokförarna. Det har varit svårt att utbilda förarna och att vidmakthålla kunskapen hos dem. Numera är inte dessa utmaningar lika lockande. Stressen och påfrestningarna har gjort det svårt att rekrytera förare<sup>71</sup>.

Denna järnväg uppnått den lägsta kostnaden per netto ton-mile i världen, enligt en studie av Mercer Management Consulting år 1994<sup>72</sup>. Men det har tidigare inte varit möjligt att uppnå ytterligare förbättringar. Främsta orsaken är de tekniska begränsningarna hos bromsen som medför ojämn fördelning av bromskrafterna i tåget,

---

<sup>69</sup> Brian Smith, Fred Carlson: *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

<sup>70</sup> Mike Darby, Vice-President Railways, BHP Billiton Iron Ore, Privat kommunikation.

<sup>71</sup> Dave van der Meulen: "Strategies for freight train integrated ECP braking plus distributed power", Presented at World Congress on Railway Research, Köln, November 2001

<sup>72</sup> Dave van der Meulen: "Progress with Evaluation of Cable-based ECP Braking and Distributed Power", Presented at the 7<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference, Brisbane, June 2001

långsam ansättning av bromsarna längs tåget och risken för utmattning av bromsen. Till detta kommer säkerhetsrisker som följd av höga krafter i kopplen, överhettade hjulringar och risk för urspårning.

I slutet av 1990 talet började Spoornet se sig om efter tekniska lösningar på problemen. Man beslöt 1999 att prova en kombination av kabelbaserad ECP-bromsar av typ overlay med integrerad DP (Distributed Power). Fjärrstyrda lokgrupper styrs genom ECP-bromsens datorsystem och train line kabel. Det var en kombination som aldrig tidigare provats. Trådlös (radiobased) ECP förkastades eftersom topografien längs banan ingav tveksamheter om radio skulle kunna ge säker och avbrottsfri förbindelse inom tåget.

I mars 1999 beställde Spoornet ett system från Wabtec Corp, där de skulle utrusta ett 200 vagnars provtåg med kabelbaserad ECP broms, PowerLink DP och EPIC elektroniska tryckluftbromsar för loken. Wabtecs dåvarande system använde flera repeaters fördelade på ett antal vagnar längs tåget för att säkerställa att signalerna på trainline kabeln skulle nå längs hela tågets längd. Senare har man bytt från transducern PLT-10 till den nya PLT-22 vilka klarar tåglängder på mer än 200 vagnar utan att repeater behövs. Modifieringen kunde enkelt införas tack vare att man använde en ECP-broms av typ overlay där den vanliga pneumatiska styrventilen finns kvar. Därför kunde vagnarna användas i konventionellt bromsade tåg under tiden ECP-utrustningen var borttagen för ombyggnad.

Det ECP-utrustade försökståget, med 22000 tons tågvikt är ca 2 km långt och består av 50 st stångkopplade enheter om 4 vagnar vardera samt 6 lok, varav fyra lok längs fram drar och två skjuter på i tågslutet. Enligt Wabtec är det första gången man använder integrerad ECP och DP och första gången något av systemen används på en elektrifierad järnväg.

Mycket goda resultat har uppnåtts. Tågen körs ”mjukt som silke” och lokförarna är inte längre stressade. Förbättringar som har uppnåtts är bland andra:

- Körtiden har minskat från 13,5 till 11 timmar
- Medelvärdet för bromssträckan har minskat från 4000 till 1700 fot (från 1219 till 518 m) en minskning med 58 %.
- Man har uppnått en max hastighet på 55 mph. (89 km/h)
- Tillgången på lokförare har ökat p g a enklare hantering av tågen och mindre psykisk stress

Omloppstiden har dessutom minskats genom snabbare bromsprov som redovisas nedan.

Spoornet kan med ECP-systemet öka den årliga transportmängden på banan från 66 miljoner till 80 miljoner ton kol utan att förändra infrastrukturen.

Ett av de svåraste problemen var hur man skulle utföra ECP systemet som använder AAR-godkända, Tri-Star elektriska signalledningskontakter, vanliga AAR bromsslangar och kopplingsnåvar. Vid hamnen töms vagnarna, genom att roteras två i taget och ECP-systemet skulle utföras så att tömningen inte försvårades. Man har hittat lösningar som man nu inför vid den totala omställningen till ECP-bromsar.

Spoornet har med anledning av de lyckade försöken tagit ett beslut att helt övergå till ECP-broms med integrerad DP-styrning i sin koltrafik på Ermelo- Richards Bay med anslutande banor. Spoornet har 2003-11-17 gått ut med en offertinfordran avseende fullständig omställning till ECP-broms och DP. Detta är världens första totala omställning till ECP-broms.

Man avser att uppgradera ca 6700 kolvagnar och ca 200 lok som delvis utrustas varav ca 110 lok förses med fullständig ECP med integrerad DP<sup>73</sup>. Man avser också att ytterligare försök prova olika konfigurationer med DP. Dels vill man prova med en lokgrupp fram och en längst bak i tåget, dels med lok fram och i mitten av tåget samt även med tre lokgrupper fördelade med en lokgrupp fram, en i mitten och en längst bak i tåget.

Kolvagnarna är kortkopplade med 4 vagnar i varje grupp. Här avser man prova att ha en gemensam elektronikutrustning (CCD) för varje grupp vilket innebär besparingar i investeringar och underhåll men också medför nackdelar eftersom 4 vagnar behöver tas ur drift om fel uppstår på en elektronikutrustning (en CCD-enhet).

Spoornet har också ideér till hur bromsprovning ytterligare kan rationalliseras<sup>74</sup>. Vid de långa tågen är det vanligt att man inte går längs tåget utan kör med ett fordon vid bromsprovet. Egentligen upptäcks inte så många fel utöver läckor vid bromsproven. Därför skulle man kunna hävda att man kan öka tiden mellan de manuella okulära besiktningarna av dessa systemtåg.

ECP-bromsen övervakar och återkopplar trycket i bromscylintern. Någon avkänning eller återföring längre ut mot bromsblocken i bromsrörelsen finns tyvärr inte i de nuvarande systemen Därför säger ECP-systemets övervakning inget om bromssystemets funktion inom respektive vagn.

Emellertid kan ECP-bromsens självdiagnostik kombineras med resultaten från externa system som finns längs banan och övervakar hjultemperaturen på vagnarna samt rapporterar dessa till övervakningscentraler. Kalla hjul indikerar att bromsen inte tar alls eller dåligt, lagom varma hjul att bromsen tar normalt och något för varma till extremt heta att det är något tekniskt fel på bromsen eller att handbromsen är dragen eftersom bromsen tar för hårt. Eftersom felet kan relateras till vagnens identitet kan man registrera de förhoppningsvis sällsynta fall där någon eller några vagnar har fel på bromsarna trots ECP-systemet inte upptäckt det och slagit larm till föraren.

Avsikten är alltså att öka tiden mellan manuella visuella inspektioner. COALink har redan ändrat rutinerna genom att slopa den manuella besiktningen för ECP-bromsade tåg som skall återvända med tomma tåg från hamnen i Richards Bay vilket ger en tidsbesparing på 45 – 50 minuter. Man räknar allmänt med att tiden för bromsprov kan minskas med 90 – 120 minuter per terminal, dvs. spara in tre till fyra timmar av den totala omloppstiden som är ungefär 60 timmar. Detta utgör den största kvantifierbara nyttan. Till detta kommer den minskade körtiden från 13,5 till 11 timmar enligt ovan.

Andra nyttor och besparingar ECP-bromsen ger är genom:

- minskade skador pga. urspårningar
- mindre antal vagnar behövs
- man klarar sig med färre lok
- minskat underhåll på den rullande materielen (färre hjulskador, bl. a. färre överhettade hjul och färre hjulplattor samt mindre skador på koppel och vagnar)
- minskad energi-/bränsleförbrukning

---

<sup>73</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002

<sup>74</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002

- minskade och färre förseningar
- minskat spårunderhåll

Den relativa fördelningen av de nyttorna som ECP-broms med integrerad DP bedöms medföra redovisas i tabell 6<sup>75</sup> 76.

Nedanstående fördelning av nyttorna gäller vid Spoornets tunga koltrafik. I annan trafik och under andra förhållanden kan både nyttorna och deras relativa fördelning vara annorlunda.

De problem och skador som presenterats när det gäller längsriktade krafter i tåget och som dels beror på nackdelarna med AAR P-broms och som dels uppstår när alla lokomotiv är koncentrerade till tågets framända, har observerats på huvudlinjen Ermelo-Richards Bay. Den linjen är elektrifierad med 25 kV 50Hz växelspänning och där körs långa tåg med 200 vagnar och med tågvikter på omkring 20 000 ton. Man upplever inte dessa problem och skador lika påtagligt på sidolinjerna med 100 vagnars tågsätt och eldrift med 3 kV likspänning eller med dieseldrift. Det tycks alltså som den gräns i tåglängd och tågvtikt där påtagliga problem uppstår ändå ligger relativt högt vid dessa banor<sup>77</sup>.

Detta är den första och hittills enda användningen av kabelbaserad ECP-broms med integrerad DP vid elektrifierade järnvägar. Huvudlinjen är elektrifierad med 25 kV, 50 Hz AC (växelspänning). På sidolinjer förekommer 3 kV DC (likspänning) och dieseldrift. Vissa problem har förekommit med den elektriska ned- och uppkoppling av motorströmmen i den bakre lokgruppen i DP, då den skall passera nollsektioner (isolationsgap) i kontaktledningen. Detta redovisas i rapporten Fördelad dragkraft. Misstanke finns att några sporadiska fall av nödbromsning som inträffat kan ha berott på elektromagnetisk störning. Störningsrisken kan vara ett problem som måste beaktas då kabelbaserad ECP-broms liksom den integrerade fjärrstyrningen av lok (DP) används vid elektrifierade järnvägar<sup>78</sup>.

---

<sup>75</sup> Dave van der Meulen: "Developing Business Cases For Integrated ECP Braking Plus Distributed Power", Presented at the 94<sup>th</sup> Convention, Air Brake Association, Chicago, September 2002

<sup>76</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002

<sup>77</sup> Dave van der Meulen: "Progress with Evaluation of Cable-based ECP Braking and Distributed Power", Presented at the 7<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference, Brisbane, June 2001

<sup>78</sup> Dave van der Meulen: "Evaluation of Wireline ECP Braking and DP on the Ermelo-Richards Bay Coal Export Line", Presented at 92<sup>nd</sup> Annual Convention, Air brake Association, Chicago, September 2000

Tabell 6 Bedömning hur de relativa nyttorna med ECP-broms och integrerad DP fördelar sig

Nyttan/fördelen/	Kommentar/förklaring	Rel. fördeln.
Man kan minska antalet vagnar vid bibehållen trafik alt. öka trafiken	Snabbare omloppstid	39 %
Minskad urspårningsrisk	Lägre tryck- och dragkrafter, färre avdragna koppel, färre nödbromsning	14 %
Man kan minska antalet lok snabbare omloppstid, lok kan ha snabbare omlopps	Snabbare omloppstid, (men loken har kortare omloppstid än vagnarna, ingen tid för lastning/lossning)	14 %
Minskat underhållsbehov på fordon	Färre hjulskador/jämnare bromsverkan, färre fall med tjuvbroms eller glömd parkeringsbroms. Färre koppelskador	10 %
Frigjorda pneum. styrventiler kan säljas externt eller återanvändas på egna vagnar	Vid övergång till stand alone (all electric) ECP-broms tas den pneum. styrventilen bort	9 %
Minskad energikostnad	Fördelad dragkraft (DP) ger mindre kurvmotstånd och något högre hastighet och omloppstid. Ingen Power Braking	6 %
Minskade tågförseningar	Pålitligare bromsfunktioner och trafik, färre UDE – ”falska” nödbromsningar	6 %
Minskat spårunderhåll. Påverkan på spårläge, rälsfästen, underlägg, slipers, ballast osv.	DP med lok både i främre och bakre ändan i stället för alla lok i framändan ger minskade spårkrafter	2 %

## 5.10 Omställningen till ECP/DP-system

### 5.10.1 Allmänna idéer om omställningsförfarandet

Som framgått av det tidigare (se 5.4) finns det två ECP-varianter, overlay och emulerande, som kan fungera såväl i konventionella p-bromsade tåg som i ECP-bromsade. Under omställningsperioden kan då tåg med icke ombyggda vagnar och tåg med en blandning av ombyggda och icke ombyggda fotsätta att köras som förut med P-broms. Däremot tåg som bara innehåller ECP-bromsade vagnar kan köras som ECP-bromsat tåg, förutsatt att loket/loken i tåget är utrustade med ECP-system.

För att underlätta tågbildningen bör man sträva efter att först bygga om alla eller åtminstone ett tillräckligt antal lok av de som skall behållas på lite längre sikt. Detta omställningsförfarande är nog att anse som den gällande principen för den allmänna godtrafiken.



## 5.10.2 Omställning till DP/ECP-broms i två steg

Det har nu kommit fram en del nya idéer som baseras på ett tvåstegs omställningsförfarande då man inför kabelbaserad ECP-broms med integrerad DP (se 5.7.4 och 5.8.12 samt rapporten Fördelad dragkraft avsnitt 6.3.2).

## 5.10.3 Spoornets omställning till ECP-broms

Spoornets omställning är annorlunda eftersom den avser en direkt övergång till stand alone/all electric (helt elektrisk) ECP-broms. Då kan inte ombyggda vagnar blandas i P-bromsade tåg. Omställningen underlättas av att det rör det sig om en visserligen omfattande men avgränsad systemtågstrafik.

Som nämndes ovan (5.9.3) har Spoornet med anledning av de lyckade försöken som första järnväg i världen tagit ett beslut att helt övergå till ECP-broms med integrerad DP-styrning i sin koltrafik på Ermelo- Richards Bay med anslutande banor. Spoornet har 2003-11-17 gått ut med en offertinfordran avseende fullständig omställning till ECP-broms och DP.

Man avser att uppgradera ca 6700 kolvagnar och ca 200 lok som delvis utrustas varav ca 110 lok förses med fullständig ECP med integrerad DP<sup>79</sup>. Man avser också att i trafiken ytterligare pröva olika konfigurationer med DP, dels med två lok grupper med lok fram och sist i tåget, alternativt med lok fram och i mitten av tåget samt även med tre grupper, lok fram, i mitten och bak i tåget.

Spoornets plan för omställningen bygger på följande principer<sup>80</sup>:

1. Först utrustas alla lok med ECP-broms (och i förekommande fall med integrerad DP, dock med en DP version utan radio (se kap 2.6.4, 2.6.5 och 2.8))
2. Därefter konverteras vagnar i block om 100 st som tas ur trafik och återgår då de försetts med ECP-broms. Alltså kommer bara 100 vagnar åt gången att vara tagna ur trafik. Ombyggda vagnar används därefter bara i ECP-bromsade tåg.
3. Detta förfarande garanterar att alla lok kan hantera såväl tåg med ECP-broms som med P- broms eftersom loken behåller sin konventionella styrförmåga
4. Antalet lok är relativt mindre än antalet vagnar vilket gör det lämpligt att först bygga om loken. Till det kommer att 45 lok redan håller på att uppgraderas i ett särskilt upprustningsprogram
5. Den planerade ombyggnadstakten är 40 vagnar per dag. Ombyggnaden av de totalt 6700 vagnarna skulle därmed gå då på mindre än ett år, men det kommer att ta längre tid eftersom en ombyggnad av förserievagnar först skall göras enligt följande
6. De presumtiva leverantörerna (det torde bara vara Wabtec och NYAB som kan leverera stand alone ECP-bromsar) skall vardera utrusta två tåg om 200 vagnar dvs. totalt 800 vagnar, för att leverantörerna och Spoornet skall kunna upptäcka

---

<sup>79</sup> Dave van der Meulen: "Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002

<sup>80</sup> Dave van der Meulen, Privat kommunikation, Chief Engineer (Systemic Rail Solutions), Spoornet, South Africa

---

och rätta eventuella fel och programbuggar innan resten av vagnparken byggs om

7. Den begränsade emulerande förmågan som skall finnas på Spoornets stand alone ECP-broms (limited emulation functionality för att uppnå ”limb home ability”) (se 5.4) är inte avsedd att användas för att köra ECP-utrustade vagnar i P-bromsade tåg under omställningsperioden. Den är avsedd att användas i nödlägen för att förflytta stora tåg och för användning i normalläge i små tåg. Den stöder inte trafik med långa tåg i normal hastighet
8. Leverantörerna skall ansvara för ombyggnaden till ECP-bromsar, inte Spoornet. Spoornet har bara resurser för normalt underhåll på fordonsparken.

## 6 Datorstyrda bromssystem för godståg i Europa

### 6.1 Datorteknik ger effektivare godståg

För den intermodala godstrafiken och den allmänna godstrafiken med vagnslaster i Europa är det angeläget att minska tiden och de stora kostnaderna för tågbildningen vid rangerbangårdarna. Den attraktiva transportmarknaden för industriella insatsvaror och färdigprodukter kräver snabba transporter ofta över natt. Därför vill man automatisera och snabba upp processerna för tågbildning, bromsprovning, beräkning av tågvikt, bromsvikt, bromstal mm liksom för att ta fram andra uppgifter om tåget, dess sammanansättning och laster.

Krav på ökad snabbhet kan medför risk för stress hos personalen och därmed risken för att mänskligt begångna fel. Människan i systemet behöver därför avlastas och få hjälp av automatiska system som stöd i arbetet och som övervakar att inte fel begås.

De uppgifter som idag tas fram manuellt och lämnas till föraren kan i framtiden behöva utökas och förbättras för att ge ett säkrare och noggrannare underlag till system som ERTMS (European Rail Traffic Management System) om tåget och dess bromsegenskaper. Med ERTMS kan man ha rullande blocksträckor som följer med tågen och varierande blocklängder som är anpassade efter tågen.

Viktiga funktioner är också övervakningen av tågintegriteten under tågets gång, dvs. att hela tåget med sista vagnen är komplett samt att bromsledningen och i förekommande fall elledningen samt tågets dataledning är intakta och i funktion. Viktigt är också övervakningen av ECP-bromsen och dess ingående delar och funktioner så att ECP-bromsen är säkerhetsrelevant. Dvs. så snart något fel uppstår skall systemet upptäcka detta, larma föraren och vid behov automatiskt vidta erforderliga motåtgärder. Det kan vara meddelanden om sänkt bromstal, lägre hastighet, olika bromsåtgärder mm.

Behovet av rangering och växling kan minskas genom att använda *modulära tåg* dvs. stora tåg som bildas av två eller flera mindre men kompletta tåg<sup>81</sup>. Genom ”*Train Coupling and Sharing*” kan man kombinera flera mindre tåg och individuella vagnar. Tågen skall snabbt kunna bildas och lösas upp<sup>82</sup>. Det kvarvarande tåget sedan delar kopplats bort behöver snabbt kunna fortsätta som ett nytt tåg<sup>83</sup>.

---

<sup>81</sup> Markus Bürkl, DB AG: *Modular Freight Train System*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

<sup>82</sup> Marc Guigon, SNCF: *Intelligent Freight Train*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

<sup>83</sup> INTEL FRET, *Intelligent Freight Train*, Final Report For Publication, ERRI 31/1 2000

Till detta kommer, liksom i USA, önskan att kunna köra längre, tyngre och snabbare godståg än vad nuvarande tryckluftbromsar medger.

Följande två europeiska projekt för utveckling av informationssystem med datorstyrda bromsar:

- Projektet, EBAS, som påbörjades omkring 1995 i Tyskland av DB.
- FEBIS/EFIS som påbörjades under 1998 på initiativ av DB i Tyskland och SNCF i Frankrike.

Dessutom finns ett tredje projekt.

- INTELFRET. Det är ett projekt som bekostats av EC men leds av ERRI. Det syftade till att ta fram en funktionsspecifikation för innovativa koncept för godstransport på järnväg. Däribland ingår ECP-bromssystem. Projektet studerade operativa problem inom godstransportområdet för järnvägar där modern teknologi kan användas för automation och för ”*intelligenta godstågssystem*” med fokusering på ”*intelligenta*” *telematiska verktyg* ombord på godsvagnar och tåg samt på dataöverföringen mellan tåg och markfasta anordningar.

EBAS och EFIS/FEBIS beskrivs här nedan medan INTELFRET behandlas i rapporten *Intelligenta informationssystem för godstransporter på järnväg*.

## 6.2 EBAS

*EBAS* är en förkortning av det tyska namnet *Elektrische/elektronische Brems-Abfrage*. Det är ett tyskt projekt inom Deutsche Bahn AG (DB AG). Utvecklingen har gjorts tillsammans med olika partners men alla rättigheter till systemet tillhör DB AG.

EBAS har utvecklats för att effektivisera godstrafiken med fokus på automatiseringsmöjligheter, övervakning och styrning inom ett brett fält, inklusive en datorstyrd pneumatisk broms avsedd för tåg med begränsad längd samt med automatiska funktioner.

Bakgrunden var att undersökningar som DB gjort visade att en betydande del av den totala kostnaden för trafik med vagnslaster ligger på rangeringen. Den höga fasta kostnadsandelen beror på att fasta anordningar på rangerbangårdarna inte är tillräckligt flexibla och anpassningsbara till behovet. Genom att istället investera i vagnparken ville DB få en flexiblere lösning som var mera affärsmässig.

EBAS tillåter en tåglängd på ca 700 m och maximalt 64 fordon. Systemet är alltså mera inriktat på effektivisering av godstransporter med måttlig tåglängd än att lösa bromsproblemen vid mycket långa tåg. Den begränsade tåglängden ändå är tillräcklig för att några enstaka korta godståg skall kunna kopplas samman till ett långt som körs av en förare på den sträcka de har gemensamt, för att sedan delas upp igen i de mindre tågen, så kallat Train-Coupling-and-Sharing upplägg (TCS).

Automatiska funktioner enligt målsättningen vid projektet början omfattade:

- Tåg (om) bildning
- Bromsprov
- Bromsdiagnos
- Styrning av bromsen
- Identifiering av vagnarna i tåget

Mål som kunde uppnås inom projektet:

- Helt automatiska bromsprov
- Förbättrad bromsdiagnos
- Elektroniskt styrd broms
- Aktuell information om ingående fordon
- Datakommunikation
- Styrning och övervakning
- Rangerbromsning
- Fjärrstyrd selektiv fränkoppling med det automatiska centralkopplet Z-Ak
- Höjd säkerhet inom även andra områden än bromsfunktionen

EBAS bygger på ett datornät inom tåget med distribuerat datorkraft med Multi-Masterfunktion. Det finns bara en master i nätet övriga noder är slavar. Genom Multi-Masterfunktionen kan alla noder aktivt ingripa i datatrafiken. Detta är en viktig förmåga som utnyttjas i EBAS-system. Det behövs t ex om ett koppel brister och tåget delas. Nödåtgärderna kan då styras och genomföras genom en slav i den bakre masterlösa delen.

Busstopografin grundas på ett ”öppet” datornät med följande krav på systemet:

- Datatrafiken sker på en tågbusstyp CAN
- Dataöverföringen på en konventionell tvinnad tvåtråds ledning (koppar)
- Dataförbindelsen skall kunna betjäna 60 vagnar
- Full funktionsförmåga skall finnas kvar även vid bortfall av en nod längs bussen
- Utförandet skall vara enkelt, tillförlitligt och prisvärt

Efter noggranna överväganden och valdes CAN-bussen (Controller Area Network), enligt ISO CAN-normer 11898 och 11519-1, för datorkommunikationen mellan lok och vagnar på *tågbusserna*. CAN-bussen utvecklades av Bosch på 1970-talet för användning inom bilindustrin men har efter det fått en bred industriell användning. CAN-kretsar tillverkas av ett antal stora företag och inga patenthinder finns. CAN-bussen kan medge datahastigheter på upp till 1 MBaud men det ställer stora krav på bussledningen, ledningslängden, ledningsdragningen, skärmningen, kostnadsinsatsen osv. I tågbusserna blir hastigheten mycket lägre på grund av dess busslängd, ledningstyp, kontakter mm.

*Tågbussernas* längd är därför begränsad till högst 900 m längd. Antalet noder är högst 64.

CAN-bussen fordrar inte att ständig kontakt mellan master och slavar upprätthålls genom rutinmässiga frågor och svar. Meddelanden skickas i stället då någon händelse inträffar eller tillståndsändring sker annars råder tystnad (händelsebaserad datakommunikation liksom vid de amerikanska ECP-bromsarna)

Alla data meddelanden tilldelas en kod (en identifierare, ID). När denna kod (ID) upptäcks på nätet reagerar endast de noder som är programmerade att göra det alla övriga ignorerar meddelandet. Identifierarna är ordnade i en viss prioritetsordning där lägre tal ger högre prioritet och därmed bättre förmåga att snabbt komma åt ledningen och få fram meddelandet. Meddelandelängden är begränsad till 8 Byte.

Maximalt möjliga datahastigheten är beroende av busslängden och blir vid 700 m längd ca 70 kbit/s. För tågbusen har valts 10 kbit/s vilket innebär att en ordentligt tilltagen reservmarginal finns. Den kan användas för ännu längre tåg men kan även behövas för ett alternativt kontaktdon (se nedan) som bygger på induktiv överföring (transformatorprincip) av signalen i stället för galvanisk kontakt, vilket medför längre systemlöptid längs bussledningen. Ett meddelande når fram till den längst bort belägna noden på ledningens ända, dvs. på 900 m avstånd inom 13 ms på en bussledning med 64 noder. Om man har högre datahastighet blir tiden ännu kortare. Vid den valda datahastigheten 10 kbit/s är det möjligt att använda en enkel tvinnad parledning .

För bussledningen och energiförsörjningen längs tåget valdes den kabel som används vid EP-broms med UIC-kabel, enligt UIC norm 541-5, med 9-polig kontakt. I kabeln finns bl a två skärmade ledare som används för databussen och två andra avsedda för strömförsörjningen.

För strömförsörjning av styrenheten finns i varje vagn en 24V ackumulator. Den laddas antingen genom en axelgenerator med maximalt 30W effekt eller genom strömförsörjningen från loket via ledningen med 220V/50 Hz och ungefär 2 kW effekt.

För användning tillsammans med automatkoppel av typ Z-AK av Knorr tillverkning används en annan databuss med tvinnad tvåtråd. Ett speciellt kontaktdon med induktiv överföring (transformatorprincip) används i stället för mekanisk/galvaniskt don med kontaktstift och hylsor. Kontakten kallad ESL-modul är inbyggd i kopplet och kopplas helt automatiskt tillsammans med kopplet.

EBAS med automatkopplet Z-AK användes i CargoSprintern.

Styrningen av EBAS-bromsen sker elektroniskt över tågbusen. Huvudledningen kan därför ständigt ha sitt nominella lufttryck, 5 bar. EBAS har en egen pneumatisk reservfunktion som inte är UIC-kompatibel och som aktiveras om det blir avbrott på datakommunikationen. Den reagerar på trycksänkningar i huvudledningen.

Enligt planerna skulle det inte krävas att UIC styrventil måste finnas kvar, men det skulle vara tillåtet att ha den kvar som ett alternativt från EBAS helt oberoende styrsystem. Vartdera systemet skall då kunna kopplas till och från oberoende av det andra systemet. Om båda systemen skulle vara inkopplade samtidigt får de inte störa varandra och de skall styras helt oberoende av varandra via sina respektive styrsignaler på EBAS databuss respektive huvudledningen.

För att automatisera processen på rangerbangården, då ett godståg ska upplösas och en ny tåg bildning ska ske, kan ett antal aktiviteter beordras via tågbusen:

- Öppna/stänga alla kopplingsventilerna för huvudledningen
- Koppla in en automatisk hastighetsreglering att användas vid rangering för vagnens färd genom växlarna mot riktningsspåret och hopkopplingen
- Öppna kopplingsventilerna i huvudledningen genom tåget och stänga den sista i tåget
- Ställa in bromsläge G eller P (om bromslägesinställningen finns kvar)

- Koppla in avstängda bromsar
- Genomföra EBAS bromsprov

För att effektuera dessa funktioner erfordras olika givare och ställdon. Ställdonen är 2-läges tryckluftcylindrar med lägesgivare för att kontrollera att beordrat läge ställts in. De styrs med magnetventiler. Det behövs dessutom P/I-omvandlare, strömställare, med mera. Det är mycket viktigt att begränsa den elektriska energiförbrukningen för att medge batteridrift. Alla strömförbrukare väljs med hänsyn till detta. Elektriskt styrd omkoppling styrs med korta strömimpulser för att minska den genomsnittliga strömstyrkan.

Ställdonen (tryckluftcylindrarna) luftförsörjs från en tryckluftbehållare som laddas från bromssystemet. Återflöde till bromssystemet hindras genom backventiler. För att höja funktions säkerheten för de pneumatiska ställdonen krävs att de skall fungera på ett riktigt sätt ned till 2 bars tryck i luftbehållaren.

Kommunikationen inom fordonen mellan dator, givare, ställdon osv. sker med en annan CAN-buss, *fordonsbussen*, med betydligt högre datahastighet än på *tågbussen*.

Styrdatorena har en inbyggd funktion för självtestning.

För att prova EBAS infördes den på 20 godsvagnar IGW (Innovativen Güterwagen). EBAS användes också tillsammans med automatkopplet Z-Ak från Knorr med den speciella inbyggda kontakten med den induktiva överföringen, kallad ESL-Modul, som överför både signaler och el för energiförsörjning på godsmotorvagnstågen av typ CargoSprinter.

## 6.3 Projektet FEBIS/EFIS

### 6.3.1 Bakgrund

FEBIS är ett för DB i Tyskland och SNCF i Frankrike gemensamt projekt. Uppdraget att utveckla systemet och genomföra försök gick till ALSTOM och SAB WABCO som bildat ett konsortium, SWAT, för ändamålet.

Systemet FEBIS (Freight Electronic Brake and Information System) kallas också EFIS (European Freight Intelligent System). Det senare namnet anger att stor vikt läggs vid ”intelligenta vagnar och godståg”, dvs. annan övervakning och styrning än de primära uppgifterna som anses vara bromssystemet (typ ECP-broms) och system för fjärrstyrning av övriga lok i tåget (Distributed Power, DP).

I projektet FEBIS liksom i INTELRET är önskemålet att kunna köra godståg med en tåglängd på minst 1000 m och helst på 2250 m och med maximalt 125 fordon (datanoder) i tåget, varav upp till 16 dragfordon. För FEBIS (liksom för ECP-bromsen i USA) finns två alternativa kommunikationssystem, antingen via kabel eller trådlöst via radio. Denna tåglängd ska klaras av både kabel-och radioversionerna.

Precis som i USA har i Europa den konventionella bromsens brister framför allt begränsningarna vid långa och tunga tåg varit en drivande orsak. UIC bromsen med gradvis lossningsförmåga har inte har de risker och hanteringsvårigheter som den amerikanska direktlossningsbromsen har. Men begränsningen i tåglängd är mycket större i Europa än i USA. Det beror dels på det konventionella bromssystemet av UIC-typ men också på de koppel och lätta tvåaxliga vagnar med stora överhäng (avståndet buffertplan – närmaste hjulpar) som används här. Som framgår av det tidigare ligger den maximala längden på godståg i Europa med UIC pneumatiska broms på ca 500 m till 750 m (se 2.2.4 och 2.2.5), beroende på kraven på största tillåtna hastighet och de aktuella försignalavstånden och det därav följande valet av bromsgrupp.

FEBIS/EFIS har automatiska funktioner för tågbildning och för övervakning och styrning av bromsen men också för andra funktioner på vagnar och last. FEBIS liknar AAR ECP-broms i många avseenden, det gäller även kraven på tåglängd och bromsfunktioner. Den skulle enligt de ursprungliga planerna klara tåglängder på minst 1000 m och helst 2250 m med 125 vagnar, men det gäller inte längre. Nu begränsas maximala tåglängden till 750 m (se 6.3.2). Även vad gäller kommunikationstekniken liknar FEBIS de två lösningarna inom AAR, men med vissa modifieringar.

### 6.3.2 Begränsad tåglängd med FEBIS, maximalt 750 m

FEBIS har byggts upp i testbänk med 125 vagnar och några lok. Omfattande försök där har visat att FEBIS fungerar. Men RAMS analys har visat att säkerheten vid längre tåg än 750 m helt är beroende av FEBIS-systemets funktion. Anledningen är att UIC bromsledning (huvudledningen) teoretiskt inte har full och effektiv funktion längre än till 750 m. Enligt uppgift innebär det att utvecklingen av programvaran för datorerna i FEBIS (och på varje annat datorstyrt bromssystem inom UIC) för längre tåg än 750 m och högre hastighet än 120 km/h måste uppfylla kraven enligt SIL4 (Safety Integrity Level 4) i CENELEC norm EN 50128. Detta medför en mycket hög utvecklingskostnad för programvaran som anses omöjliggöra all vidare utveckling mot det uppställda målet



med långa tåglängder. Kostnaden skulle inte täckas förrän efter 10 till 15 år, vilket är en orimlig investering för den moderna industrin. Detta innebär att FEBIS under dessa förhållanden inte kan och inte kommer att kunna användas för långa tåg i framtiden.

Projektet FEBIS lever dock vidare. Diskussioner förs mellan SAB WABCO och de italienska järnvägarna angående försök med FEBIS i korta tåg. Med korta menas kortare än 750 m inom vilken gräns UIC pneumatiska broms fortfarande kan användas som reserv- och nödfunktion och därmed garanterar säkerheten för tåget. Då behöver inte längre programvaran överensstämja med SIL4. Istället kanske SIL2 krävs vilket innebär betydligt mindre arbete och investeringskostnader. SAB WABCO söker nu finansiering för att implementera den nya hårdvarulösningen på det existerande testsystemet i laboratoriet<sup>84</sup>.

På grund av ovanstående kan datorstyrda system inom UIC mera inriktas och optimeras på uppgiften allmän effektivisering av godståg än på uppgiften att bli en effektiv broms för extremt långa godståg.

I allmänhet tillåter inte infrastrukturen i Europa särskilt långa tåg ännu varför begränsningen till maxlängden 750m inte utgör någon allvarlig nackdel för den vanliga godstrafiken under överskådlig tid.

Kanske är den korta maximala tåglängden max 750 m dock en konkurrenshämmande faktor i framtiden för trafiken på olika "freight corridors" i Europa, t ex om trafik kommer till stånd på den nya s.k. norra "Sidenvägen", the "Northern East-West (NEW) corridor". Det är en transportled som via sjötransport skulle förena hamnarna i Boston och Halifax i Nordamerika med Narvik. Därifrån skulle den multi-modala fraktkorridoren löpa på järnvägar genom Norge, Sverige, Finland och Ryssland samt via den Transsibiriska järnvägen till Vladivostok, eller via järnvägar i Ryssland, Kasakstan och Uzbekistan till Kina och Fjärranöstern<sup>85</sup>.

Skulle det bli aktuellt med ECP-broms i sådana genomgående godståg behövs en internationell gemensam standard för ECP-bromsar som inte bara omfattar UIC.

### 6.3.3 FEBIS-systemets arkitektur

Ett godståg utrustat med FEBIS består av ett masterlokomotiv, ett antal vagnar, ett antal slavlokomotiv (0-15 st) samt en EOT- (End Of Train-) enhet.

Masterlokomotivet är det främsta, där finns föraren och tåget manövreras därifrån.

FEBIS har två alternativ till databuss (Trainbus) som avses provas under utvecklingsperioden tills beslut kan fattas om vilket som bör väljas:

- Kabelbaserad med dubbel kabelbuss (två Powerline-kablar)
- Radiobaserad

Båda påminner om busslösningarna vid AAR ECP-bromsar, men den kabelbaserade lösningen använder dubbla Powerline-kablar (mot en Train Line kabel inom AAR) som vardera utgörs av en tvinnad och skärmad parledare. Detta ger dubbel datakapacitet på överföringen och viss redundans i systemet. Kablarna används både för strömförsörjning av ECP-utrustningen i tåget och för dataöverföringen. Genom att överföra elektriska

---

<sup>84</sup> Roberto Tione, Private communication SAB WABCO

<sup>85</sup> IRJ Februari 2003, sid 20-21: UIC Promotes "Northern Silk Road"

energin fås en ”rensande effekt” i kontakterna längs kabeln. Liksom i USA har man valt LON-protokollet från Echelon. Dock har man modifierat detta för att uppnå vissa förbättringar i kommunikationen. Modifieringen innebär att det finns både en kvasideterministisk och en asynkron kommunikation. Den kvasideterministiska tekniken minskar risken för att meddelanden kolliderar på bussen och används för den normala planmässiga kommunikationen av olika applikationer. Den asynkrona kommunikationen medger att alla noder kan kommunicera vid oförutsedda behov, t ex för larm vid avvikelser.

Den radiobaserade lösningen använder GE-HARRIS protokoll TrainTalk, d v s samma som vid GE-HARRIS egna radiobaserade ECP-broms, som var tänkt att användas inom AAR. Hårdvaran kommer från företaget ST2E och använder frekvensen 5,8 GHz, ISM-bandet. Eftersom ingen kabel finns längs tåget i detta fall behöver varje godsvagn ha en egen generering av elkraft för strömförsörjning och för att ladda sina batterier. Man avser att använda axelgeneratorer för detta som GE-HARRIS och Zeftron först gjorde. De har sedan övergått till använda tryckluftdriven turbingenerator eftersom axelgenerator inte visade sig vara en lyckad lösning.. Batteriet skall räcka för ca 5 timmars drift om strömförsörjningen via kabeln respektive från axelgeneratorm skulle upphöra.

FEBIS använder konceptet med ett *öppet självkonfigurerande datornät* med *distribuerad datorkraft* och *master/slave-principen* för den deterministiska kommunikationen. *Multimasterfunktion* finns som kan användas vid nödsituationer. Den tillåter att alla noder kan få tillgång till nätet för att t ex sända nödmeddelanden genom den asynkrona kommunikationen. Åtkomsten till de två parallella kabelnäten är uppdelad för att skilja på ”*vitala funktioner*” som styrning av broms och fjärrstyrda lok respektive ”*övriga funktioner*” som diagnos- och övervakningsfunktioner.

FEBIS kommunikationssystem skall vara *öppet* i två bemärkelser:

- öppet i bemärkelsen ”dynamiskt självkonfigurerande nät” enligt ovan. Det innebär att systemet kan konfigurera sig till olika antal noder och nodernas identitet
- Dels öppet i den meningen att nya fördelade funktioner (Distributed Applications, DA) som ännu inte existerar skall kunna tillkomma och införas utan att systemet behöver modifieras i framtiden

På det främsta loket finns en Master Control Unit (MCU) som är lokets centrala dator och nod. Den styr och övervakar hela FEBIS-systemet. Där finns masterfunktionen för initialisering, styrning och övervakning av kommunikationssystemet och energiförsörjningen liksom masterfunktionen för styrning och övervakning av FEBIS bromsfunktion i tåget.

På övriga fordon finns Local Control Unit (LCU) som är den lokala styrdatorn och representerar slavnoden.

Kommunikationssystemet erbjuder kommunikation åt de olika applikationerna (funktionerna). En fördelad funktion (Distributed Application) är en applikation som involverar mer än en nod i nätverket. Den distribuerade applikationen utför specifika funktioner i systemet (t ex bromsstyrningsapplikationen, applikationen för fjärrstyrning av multipelkopplade lok, applikationen för tågintegritet, applikationen tågdiagnostik etc.). Varje applikation styrs av sin speciella Applikations Master (Application Master, AM). AM har till uppgift att sköta sin distribuerade applikation. Den skickar styrorder till sin applikation och beroende på applikationen kan den förvänta sig en reaktion från applikationen. AM kan köras på det ledande loket tillsammans med mastern för kommunikationsapplikationen (Communication Master, CM) eller på någon annan nod i

tåget. Det får bara finnas en aktiv AM för varje applikation samtidigt. För en del applikationer (ej broms) får det finnas en redundant master och applikationen kan själv initiera byte av master. För bromsapplikationen får bara finnas en unik Brake Master (BM) som måste finnas på det främsta loket. I FEBIS-projektet utvecklas bara bromsapplikationen.

I FEBIS-projektet ingår utveckling av varianter för övervakning av tågintegriteten, vilket är en nödvändig funktion för att tåget skall fungera tillsammans med ERTMS (European Rail Traffic Management System). Antingen finns det en EOT-enhet som sätts på plats och hanteras helt manuellt eller en helt automatisk EOT med erforderliga givare eller en halvautomatisk variant med manuell inställning<sup>86</sup>.

### 6.3.4 FEBIS-system på godsvagnar

Det finns två alternativa lösningar för kommunikationen inom godsvagnar:

- utan inre fordonsbuss respektive
- med en inre fordonsbuss av typ CAN-buss.

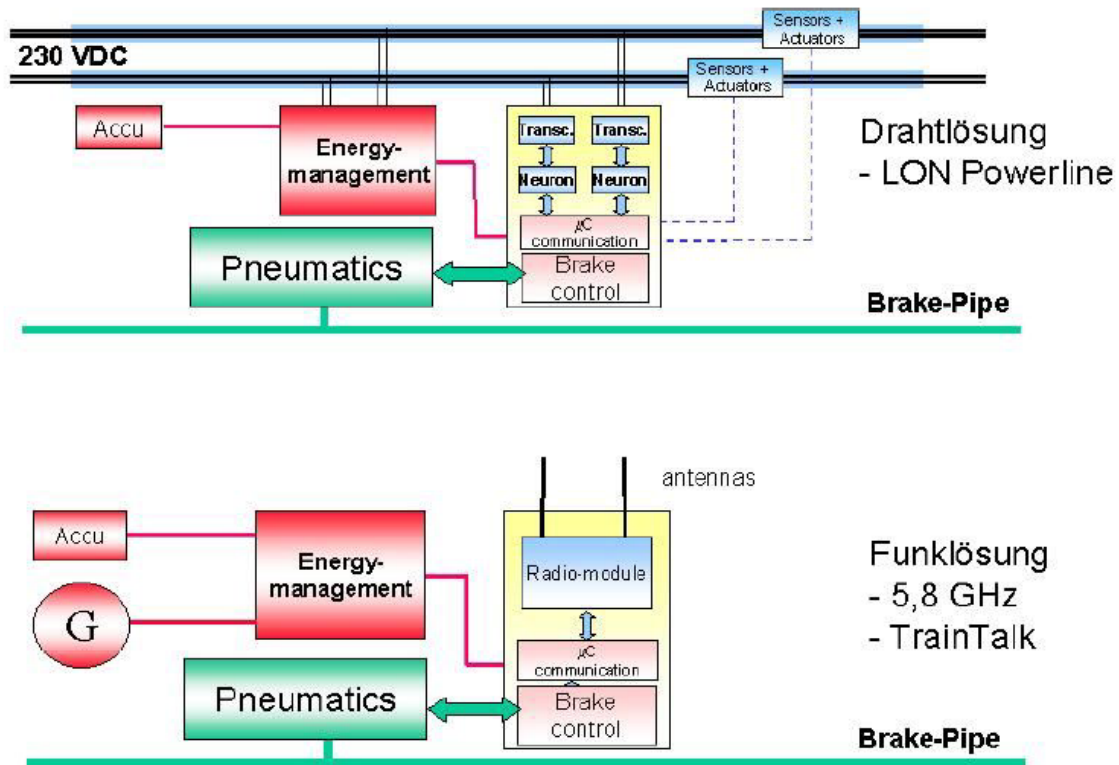
Figur 26 visar FEBIS-utrustningen på en vagn utan att det finns någon speciell fordonsbuss inom vagnen. Den övre bilden visar den kabelbaserade FEBIS-lösningen med dubbla *Powerline-kablar* (motsvarande Train Line-kabeln vid AAR ECP-broms). Den nedre bilden visar den radiobaserade FEBIS-lösningen.

FEBIS använder overlay-principen, dvs. styrventilen (i detta fall av UIC standard) finns kvar. UIC-bromsen har, till skillnad från AAR-bromsen, inte en separat ventil för nödbromsning. Den vanliga styrventilen används vid nödbromsning. Styrventilen får därför inte kopplas bort från bromsledning och cylinder i ECP-mode. Därför måste den elektriska och den pneumatiska styrventilen vara kopplade parallellt och ständigt engagerade när systemet styrs i FEBIS-mode. Därmed finns alltså den vanliga P-bromsen alltid tillgänglig att användas som driftbroms och nödbroms i reserv i FEBIS-bromsade tåg och för användning i konventionellt bromsade tåg.

FEBIS använder en speciell teknik, som inte finns på AAR ECP-bromsar, för att påskynda den pneumatiska bromssignalens utbredning. Det sker genom de speciella EVA-ventilerna. Detta beskrivs i avsnittet om FEBIS reaktioner om fel uppstår.

---

<sup>86</sup> Stefan Witte: *FEBIS System Aspects*, WCRR, Köln 25-29/11 2001



Figur 26 FEBIS-utrustning (lösning utan intern fordonsbuss i godsvagnen). Övre bilden visar kabelbaserad och den undre bilden radiobaserad<sup>87</sup>

För att förenkla installationen av FEBIS-enheten används en mellanplatta med kanaler där erforderliga elektromagnetiska ventiler, tryckgivare osv. integrerats. Plattan benämns *mellanfläns* (*Intermediate Flange*) och är placerad mellan styrventilen (distributor UIC) och dess fäste (interface) i figur 27 nedan.

Genom detta behövs ingen dyrbar och besvärlig rördragning och erforderliga modifieringar på mekanismerna för G/P omställning och lossningsventilen blir minimala. Figur 27 visar FEBIS-utrustningen på en vagn där alternativet med en speciell fordonsbuss (CAN-buss) används för kommunikationen inom fordonet. Den interna CAN-bussen förmedlar signalerna mellan FEBIS-mikrodator och den gateway som finns mot tågets bussledningar (Powerline-kablarna) samt mellan mikrodatorn och bromsstyrningen, mot övriga styr- och övervakningssystem inom vagnen samt mot EOT-enheten.

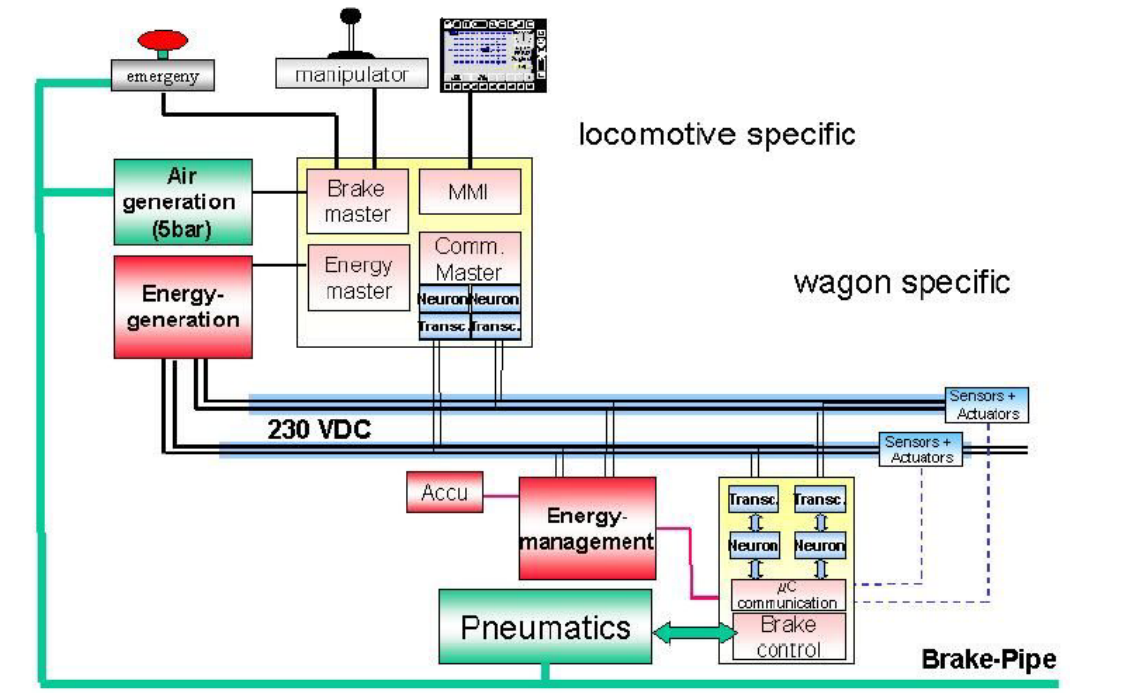
I mellanflänsen finns en speciell EVA-ventil. Den styrs av FEBIS-elektroniken och används för två syften:

- för att påskynda trycksänkning huvudledningen
- för att vidareända och påskynda en trycksänkings utbredning i ledningen och motverka den pneumatiska signalens begränsade signalhastighet

Den andra tryckgivaren i huvudledningen används inte för den egentliga bromsstyrningen utan för att i initieringsfasen vid uppstart av FEBIS-systemet bestämma vagnens läge och riktning genom att bestämma differensen i löptid för en trycksignal i huvudledningen.

<sup>87</sup> Frank Minde, Dario Barberis, Alain Bonnet: *FEBIS: Kommunikation-based electronically controlled brake*, WCRR, Köln 25-29/11 2001





Figur 28 FEBIS-utrustning på lokomotiv<sup>89</sup>

Bromsningen av ett lok sker på samma sätt som för vagnarna. Det är alltså möjligt att i FEBIS-mode bromsa bakre överksamma lok. Det gör det möjligt att transportera sådana lok, t ex för leverans eller för annan transport t ex till verkstad.

### 6.3.6 Initialisering av bromsapplikationen

Ett bromsprov kräver idag en avsevärd tid och är personalkrävande. Att säkerställa bromsfunktionen kostar pengar och tid. Med FEBIS kan föraren utföra bromsprovet på mindre än 10 minuter. Ett fullständigt bromsprov med FEBIS omfattar följande:

- 1 Automatiskt utförda funktioner hos UIC-bromsen, diagnosticerade med FEBIS givarorgan omfattar följande kontroller och åtgärder:
  - handbromsens (skruvbromsens) läge
  - bromsläge på fordonet (G/P/R)
  - ladda tågets bromssystem med luft
  - test om huvudledningen läcker
- 2 Automatiskt utförd test av FEBIS-bromsen:
  - ansätta och lossa FEBIS bromsen
- 3 Reservfunktionstest där föraren bistår i provet
  - sänka trycket i huvudledningen med hjälp av förarventilen
  - registrera när trycksänkningen passerar den första EVA-ventilen och förbi övriga EVA-ventiler

<sup>89</sup> Frank Minde, Dario Barberis, Alain Bonnet: *FEBIS: Kommunikation-based electronically controlled brake*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

- lossa den pneumatiska bromsen med hjälp av förarventilen
- 4 Automatiskt utförd beräkning av bromstalet genom att bestämma antalet operativa bromsar, fordonens bromsvikt och vikt samt beräkna tågets vikt och bromsvikt

Som framgår räcker det inte med att prova enbart den datorstyrda bromsen och UIC-bromsen utan hela reservsystemet inklusive EVA-ventilernas funktion måste provas. Endast på detta sätt kan man vara säker på att bemästra de longitudinella dynamiska krafterna i tåget vid bromsning, vilket med det konventionella UIC- bromssystem inte är möjligt.

### 6.3.7 Förarens styrning av FEBIS-bromsen

Föraren styr bromsverkan som vanligt via sitt bromshandtag på förarventilen. För övriga FEBIS-funktioner används tangentbordet vid bildskärmen på loket. I FEBIS-mode måste signalöverföringen mellan förarens bromshandtag på masterloket och huvudledningen brytas, eftersom en bromssignal via bromshandtaget inte skall leda till att trycket sänks i huvudledningen.

Vid förarventiler där bromshandtaget läge ger bromssignalens börvärde som en elektrisk signal är det möjligt att åstadkomma den önskade separationen på ett enkelt sätt. Det elektriska börvärdet går till FEBIS masterenhet och den analoga transformatorn vid förarens bromsventil använder inte signalen för att påverka trycket i huvudledningen utan den håller trycket konstant på det nominella värdet för huvudledningen 5,0 bar.

Däremot vid sådana konventionella förarventiler som direkt styr lufttrycket används en tryckgivare som omvandlar tryckförändringen till ett börvärde i form av en elektrisk bromssignal. Huvudledningstrycket hålls samtidigt konstant på 5,0 bar.

### 6.3.8 FEBIS reaktioner om fel uppstår

Som framgår av det tidigare används det pneumatiska systemet som reserv- och nödbromssystem. För att kunna köra lång tåg i Europa betyder det att de begränsningar och svagheter den konventionella UIC-bromsen har måste elimineras även när det gäller reserv och nödbromsfunktionerna. Föraren bör ha kvar kontrollen så långt det är möjligt i händelse av fel. Han bör t ex kunna påverka bromsningen även om ett fel uppstått för att hindra att tåget stannar i en tunnel.

I händelse av ett fel, ett avbrott i kommunikationssystemet, eller på grund av ett speciellt data meddelande byter FEBIS-bromsen på ett individuellt fordon till en mode där EVA-ventilen träder i funktion när en tryckförändring registreras i huvudledningen. Den bidrar till att vidarebefordra tryckförändringen genom att lokalt släppa ut luft från huvudledningen. Tryckförändringen kan startas hos föraren genom förarventilen eller genom att tåget delas (tågseparation). Så snart en nod i ett fordon (en Local Control Unit, LCU) upptäcker en trycksänkningen skickar den omedelbart ett asynkront meddelande på bussledningen och informerar alla fordon den kan nå om behovet av snabb bromsning. Det leder till att EVA-ventilerna aktiveras och att trycket snabbt stiger i FEBIS bromscylinrar. Eftersom FEBIS bromssystem används som overlay-system

tillsammans med UIC bromssystem kommer en trycksänkning i huvudledningen att leda till en parallell bromsning både genom den elektromagnetiska ventilen och genom UIC styrventil. Bromssignalen fördröjs bara av en låg utbredningshastighet vid det eller de lokala ställen där elektriska kommunikationsavbrott föreligger mellan två fordon. Detta leder till en segmentvis synkronism längs tåget.

Detta var tänkt att göra det möjligt att i framtiden köra längre och tyngre tåg än idag respektive att köra tåg med det som är maximalt tillåtet idag vad gäller längd och vikt utan hastighets- och andra restriktioner.

Bromsförmågan hos FEBIS-bromsade tåg blir praktiskt taget oberoende av tåglängd även vad gäller reservfunktionen, dvs. den pneumatiska drift- och nödbromsen. Tåget uppför sig vid bromsning som om det vore ett enda fordon. Ett tillägg på ca 10-15 % skulle därmed kunna göras på UIC bromsvikt, vilket kan användas för att höja hastigheten<sup>90</sup>. (Anm.: troligen gäller inte detta längre, se nedan.)

Som framgått tidigare (se 6.3.2), har man på senare tid inom FEBIS-projektet kommit till uppfattningen att det i praktiken inte går att köra längre tåg än 750 m inom UIC. Men projektet FEBIS avses fortsättas men inriktat på tåg med maximal längd 750 m<sup>91</sup>. Frågan är om detta föranleder ändringar i FEBIS tänkta arkitektur och teknik för att optimera FEBIS mot den kortare tåglängden och använda frigjord dator- och kommunikationskapacitet för övrig automatisering, övervakning och styrning i godståg? Ingen information om detta har hittats..

## 6.4 ECP-bromsar vid MTAB malmtrafik?

Den svenska malmtrafiken räknas till heavy haul och LKAB/MTAB tillhör också organisationen IHHA (International Heavy Haul Association). Trafiken vid malmbanan hör till den kategori som AAR kabelbaserade ECP-broms är utvecklad och anpassad för i dagsläget.

LKAB/MTAB är intresserade av den pågående utvecklingen av kabelbaserade ECP/DP-system, men anser att man klarar sig med den pneumatiska bromsen så länge tåglängden begränsas till 750 m och till de nuvarande hastigheterna (se 2.2.5). Skulle tåglängden öka upp emot 1000 m blir det svårare att klara bromsningen med den pneumatiska bromsen och då är ECP-broms av intresse.<sup>92</sup> Men man har en mycket besvärlig miljö. Vagnarna spolats vintertid med hett vatten för att den fastfrusna malmen skall kunna lossas. Frågan är hur elektronik och kabelsystem med elkontakter klarar temperaturväxlingarna mellan extrem kyla och värme samt fukten vid vattenspolningen, kondensproblem mm.

De produkter i fråga om bromssystem, elektronik, koppel osv. som i längden visat att de klarar att fungera i LKAB/MTAB miljö borde klarar påfrestningarna på de flesta andra järnvägar också.

---

<sup>90</sup> Frank Minde, Dario Barberis, Alain Bonnet: *FEBIS: Kommunikation-based electronically controlled brake*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

<sup>91</sup> Roberto Tione, Private communication SAB WABCO

<sup>92</sup> Tord Karlsson, LKAB/MTAB, Privat Kommunikation



## Bilaga 1

# De tidiga bromssystemen

Till en början fanns endast *handbromsar* på vissa vagnarna i form av *hävstångs-* eller *skruvbromsar* medan andra vagnar helt saknade bromsar. På ett visst antal vagnar i tåget, olika för olika tågslag, hastigheter och lutningar åkte *bromsare* som med handkraft manövrerade bromsarna. På ljudsignaler som lokföraren gav med ångvisslan skulle de bromsa eller lossa bromsen.

Genom att införa en *genomgående broms*, varmed menas att vagnarnas bromsar kan manövreras av föraren på loket genom att de är anslutna till en genom tåget löpande bromsledning, behövde man inte längre ha bromsare på tåget.

Heberleins friktionsbroms var en tidig *kraftbroms*, varmed menas att kraften ej kom från muskelkraft, som användes vid SJ. Den utgjordes av en genom tåget löpande lina som påverkade en friktionskoppling med en lintrumma som var monterad på en hjulaxel på varje bromsvagn. Då linan sträcktes av föraren eller konduktören drog den roterande hjulaxeln via friktionskopplingen runt trumman och en annan lina eller kedja rullades upp som pressade bromsblocken mot hjulen. Den var således en *servobroms*, eftersom tågets egen rörelseenergi utnyttjades för att ge bromskraft. Anordningen hade flera brister, bl. a. att manöverlinan påverkades av slack och fjädring i kopplen mellan vagnarna och att systemet inte var självverkande, d v s nödbromsning inte skedde om bromslinan gick av.

Till *luftbromsar* hör *tryckluftbromsar* och *vakuumbromsar* av olika typer. De först utvecklade var inte *självverkande*, d v s de saknade automatisk nödbroms.

Den första tryckluftbromsen uppfanns i England av Kendall år 1867 och användes på en engelsk järnväg. Den var mindre lämplig och kom inte till vidare användning.

George Westinghouse utvecklade i USA först en *direktverkande* tryckluftbroms 1869 och därefter den *självverkande* tryckluftbromsen med trevägsventil och bromsluftbehållare. Den förbättrades ytterligare 1887 då den snabbverkande trevägsventilen kom.

I USA utvecklades också New-Yorkbromsen av New York Air Brake Co. Delvis var den en efterbildning och delvis en förbättring av Westinghousebromsen. Senare utvecklades i Tyskland Knorrbromsen med de två nämnda som förebild. Dessa bromsar var av en typ som kallas *enkammarbroms* och som är *direktlossande*.

I Sverige gjorde SJ 1877 försök med Westinghousebromsen men då den inte ansågs lämplig valde man i stället att införa *sugluftbroms*. SJ införde från 1883 Körtings självverkande sugluftbroms (firma Körting i Hannover). I England utvecklade Hardy en förbättrad variant av sugluftbroms. Från 1896 insatte SJ endast vakuumbroms typ Hardy på vagnar och från 1898 också på lok. Även många svenska enskilda järnvägar valde Hardys vakuumbroms vilken de ofta behöll tills de blev förstatligade på 1930 eller 40 talet. Under ångloksepoken kunde man på ett enkelt sätt att alstra vakuum med en *ångejektor*, varigenom man kom ifrån användandet av dyrare och mer komplicerade kolvpumpar som behövs vid tryckluftbromsar. Men det begränsade undertrycket begränsar bromskraften och kräver stor kolvarea för att få ut högre kraft.

Medan den inte så effektiva vakuumbromsen användes i stor utsträckning i de lättare europeiska tågen ansågs den inte tillräcklig i USA med sina tunga tåg. Där använde man i

stället tryckluftbromsar. Utom när det gällde New Yorks högbanor för där dög inte tryckluftbromsen. De korta avstånden mellan stationerna gjorde att föraren inte hann ladda upp lufttrycket - ett av de problem som finns för den konventionella AAR-bromsen i modern tung godstrafik.

Då staten 1891 inköpte Gällivarebanan var samtliga malmvagnar försedda med Westinghouse tryckluftbroms. Men då man ansåg att denna broms var olämplig i det hårda klimatet kom den till en början ej till användning. Först 1895 uppsattes luftpumpar på några lokomotiv, så att försök kunde göras med några malmtåg. Försöken utföll fullt tillfredsställande och därefter utfördes all rullande materiel för malmtrafiken med tryckluftbroms. New-Yorkbromsen infördes första gången på malmbanan år 1900.

Bristen på standardisering och samordning inom och mellan länderna i Europa fick till följd att en del järnvägar använde vakuumbromsar och andra tryckluftbromsar vilket gjorde att man måste utrusta genomgående vagnar med dubbla system.

Knorr tryckbroms uppsattes av SJ på en del täckta godsvagnar 1910. Vid denna tid hade SJ redan satt upp både tryckluft- och vakuumbroms på en del person-, post- och resgodsvagnar som var så byggda att de kunde framföras i snälltåg på kontinenten.

Riksdagen beslöt 1919 att tryckluftbroms skulle införas vid SJ, vilket genomfördes 1920-27. I och med förstatligandet av de flesta enskilda banorna försvann vakuumbromsen nästan helt i Sverige. Den blev bara kvar på någon enstaka från annan trafik isolerad bana.

När man i vår tid tvekar inför stora teknikskiften och de övergångsproblem som då uppstår är det intressant att notera att Sverige under åren 1920 – 40 har varit med en stor teknisk omställning mellan två icke kompatibla bromssystem.

Från att vi från första början haft samma teknik för tryckluftbroms av typ direktlossande enkammarbroms som i USA har sedan utvecklingen gått åt olika håll så att numera skiljer sig den amerikanska och europeiska tryckluftbromsen från varandra i flera viktiga avseenden.

## Bilaga 2

# Den amerikanska tryckluftsbromsen

På loket finns i en kompressor som förser huvudbehållaren (main reservoir) med tryckluft. Luften går via förarbrömsventilen eller tågbrömsventilen (driver's brake valve) ut i huvudledningen (brake pipe) som går genom hela tåget. Varje vagn har i båda ändar slangar med kopplingsventiler (angle cocks) som används när för att kunna stänga av bromsledningen som vid bakre och främre ändan av tåget. Slangarna har kopplingsnävar (gladhand connectors) för enkel och snabb hopkoppling av huvudledningen mellan vagnarna. Kopplingsnävorna är så utförda att om kopplet brister och tåget dras isär så vrids kopplingsnävorna så att hopkopplingen släpper utan att slangarna slits sönder.

I varje bromsad vagn finns en styrventil (som på äldre system benämndes trevägsventil, tripple valve, på modernare control valve eller distributor) ansluten till bromsledningen och som i sin tur är ansluten till förrådsluftbehållaren (auxiliar reservoir, reservoir), till bromscylindern (brake cylinder) och även ut till fria luften.

Huvudledningen används för att:

- Leverera tryckluft till bromssystemet i vagnarna, huvudsakligen förrådsluftbehållarna men även till själva ledningen, ventiler mm.
- Styra bromsen genom tryckvariationer

Principen för styrventilens funktion är att den jämför trycket i huvudledningen med det i förrådsluftbehållaren. Om trycket i huvudledningen är högre ställer styrventilen sig i lossningsläge. Då släpper den via en kanal ut luft från bromscylindern (vanligen en men det kan vara flera) till fria luften varvid kolven dras tillbaka av returfjädrar så att bromsen lossas. Samtidigt som luften släpps ur cylindern öppnar styrventilen en kanal som släpper in luft från huvudledningen till förrådsluftbehållaren så att den laddas. Sedan systemet laddats med tryckluft kan det användas till att bromsa tåget. Att ladda ett långt amerikanskt godståg då det är helt tomt på luft kan ta mycket lång tid från 15 minuter till en timma beroende på tågets längd och hur stort läckage det är i huvudledningen.

Vid bromsning släpps luft ur huvudledningen så att trycket sjunker. Luften släpps ut till det tryck som ger önskad bromsverkan genom manövrering av förarventilen. Genom att öppna någon nödbromsventil i tåget eller kopplingsventilen i tågets fram- eller bakända eller genom att en slang brister eller kopplas isär, sjunker trycket i huvudledningen till noll och nödbromsning (emergency breaking) inträffar.

Då huvudledningstrycket blir lägre än det i förrådsluftbehållaren ställer styrventilen sig i bromsläge så att luft från förrådsluftbehållaren leds in i bromscylindern och den blir trycksatt. Då förskjuts kolven och dess kraft överförs mekaniskt via bromsrörelsen (rigging, brake rigging) till bromsblocken (blocks) som pressas mot hjulen så att bromsverkan erhålls.

Efter hand som luften leds in i bromscylindern sjunker trycket i förrådsluftbehållaren. Då trycket blir lika med det i huvudledningen stänger styrventilen förbindelsen mellan förrådsluftbehållaren och bromscylindern. Därefter bibehåller cylindern trycket och däremot svarande bromsverkan under förutsättning att den inte läcker. Trycket i

bromscylindern regleras alltså av styrventilen så att bromskrafterna är ungefär proportionella mot trycksänkningen i huvudledningen till en viss gräns (equalisation point). Ytterligare trycksänkning i ledningen ökar inte cylindertrycket utan bromsverkan blir oförändrad. Allt under förutsättning att huvudbehållaren har hunnit laddas till huvudledningens normala tryck som framgår av det följande.

Det nominella trycket i huvudledningen kan variera något vid olika järnvägsbolag från som lägst 65 psi (pounds per squareinch) till 90 psi (4,5 till 6,2 bar) eller i undantagsfall på banor med stora lutningar i bergsterräng 100 psi.

Vanligen är förrådsluftbehållarens volym ca 2,5 gånger bromscylinderns volym. Antag att vi har 90 psi huvudledningstryck och att vi bromsar genom att sänka trycket till 80. Trycksänkningen 10 psi i ledning och därmed också i förrådsluftbehållaren medför då ett 2,5 gånger högre tryck i bromscylindern, dvs 25 psi.

Man kan bromsa kraftigare genom att släppa ut mera luft. En ytterligare trycksänkning i huvudledningen i vårt exempel från 80 till 75 psi, dvs med 5 psi resulterar då i en tryckstegring med  $2,5 \cdot 5 = 12,5$  psi utöver tidigare 25 psi så att vi nu får totalt 37,5 psi i bromscylindern.

Systemet är säkert (fail safe), i bemärkelsen att så fort huvudledningen tappar tryck så går bromsarna till förutsatt att det är fullt laddat. Vid nödbroms eller slangbrott fås full bromsverkan. Men bromsverkan beror på hur mycket systemet (förrådsluftbehållarna) har laddats och inte enbart på hur stor trycksänkningen är i huvudledningen som framgår av följande.

Om man vill lossa bromsen så sker detta genom att sätta förarventilen i lossningsläget (release & charge) så att luft från lokets huvudbehållare och kompressorer höjer trycket i huvudledningen till 90 psi. När styrventilen känner att ledningstrycket är högre än förrådsluftbehållarens så ställer den om sig i lossningsläge, varvid dels luften i bromscylindern släpps ut i atmosfären och dels huvudledningen släpper in luft i huvudbehållaren så att den laddas till ledningstrycket vilket tar viss tid. Observera att bromsen släpper helt (direct release), det finns alltså ingen gradvis lossning (gradually release) som vid det europeiska (UIC) bromssystemet.

Anta att man efter bara 1 minut bromsar på nytt med en trycksänkning på 10 psi, dvs. från 90 till 80 psi. Bromsen har hunnit släppa (atmosfärtryck i cylindrarna) men förrådsluftbehållaren har bara hunnit laddas från 75 till 79 psi. Styrventilen känner att huvudledningstrycket är högre än förrådsluftbehållarens och förblir i lossningsläge.

Om man sänker ytterligare 5 psi till 75 psi i huvudledningen. Eftersom detta är lägre än de 79 psi som finns i förrådsluftbehållaren ställer sig styrventilen i bromsläge tills behållarens tryck är utjämnat mot ledningen, dvs. sänkts med 4 psi vilket bara ger  $4 \cdot 2,5 = 10$  psi tryck i cylinder vilket ger mycket liten bromsverkan i jämförelse med första gången då motsvarande trycksänkning i huvudledningen på 15 psi gav 37,5 psi i bromscylindern. Detta fenomen kallas bromsutmattning (brake exhaustion). Det är en mycket allvarlig negativ egenskap som påverkar bromsningen och som man måste ta stor hänsyn till vid framförandet av de långa och tunga amerikanska godstågen. Det är på detta sätt med upprepade bromsningar med korta mellanrum i längre lutningar som de flesta olyckor med skenande tåg ”runnaways” i Amerika inträffar.

### Läckage i förrådsluftbehållaren

Anta att man bromsat med 10 psi ledningstrycksänkning från 90 psi. Ledningen har då 80 psi tryck liksom behållare men då den läcker sjunker dess tryck så att det blir lägre än

huvudledningens. Detta ger samma effekt som en höjning av ledningstrycket dvs. bromsen lossar omedelbart och helt.

### **Läckage i bromscynder**

Det finns ingen automatisk eftermatning vid läckage utan bromscyndertrycket och bromskraften avtar med en hastighet som beror på läckagets omfattning.

### **Nödbromsning, emergency vent valve och Quick Action**

Vid vanlig driftbromsning (service brake application) sänks trycket i huvudledningen genom att luften släpps ut vid förarbrömsventilen framme på loket. Det tar viss tid att sänka trycket längs ledningen vilket alltid är en nackdel men särskilt vid nödbromsning. För att förbättra detta infördes en emergency vent valve (som närmast motsvarar UIC snabbbromsningsventil). Den övervakar ledningstrycket. Om det sänks långsamt påverkas den inte men vid snabba trycksänkningar i huvudledningen, som när föraren lägger bromshandtaget i nödbromsläget eller brott på en bromsslang, öppnar den vagnens huvudledning och släpper ut luften i atmosfären. Detta sker vid varje sådan ventil längs tåget så att tryckfallet i huvudledningen både får en snabbare utbredning längs tåget och gradient för trycksänkningen blir större även i tågets avlägsna delar och full bromsverkan relativt snabbt erhålls på varje vagn. Var än i tåget en nödbromsning startas sprider den sig sålunda som en förhållandevis snabb trycksänkning i huvudledningen längs tåget. Detta kallas quick action.

### **Emergency reservoir – nödbromsbehållare.**

Det ovan beskrivna problemet med att man kan bli utan luft i förrådsluftbehållarna vid t ex upprepad bromsning medför att tåget då inte har någon nödbromsningsförmåga. För att avhjälpa detta har man infört ytterligare en luftbehållare, emergency reservoir, på vagnar med bromsutrustning av typ "AB". "AB" står för "Automatik Balancing" och "automatic service portion" (automatisk driftbroms enhet) och "balanced emergency portion" (automatisk nödbroms enhet). I allmänhet är emergency reservoir sammanbyggd med förrådsluftbehållaren (auxiliary reservoir) och de utgör var sin ända av en "duplex" reservoir. Tankens två delar, som skiljs åt av en mellanvägg, är märkta med texten "emerg" respektive "aux". Emergency reservoir laddas från huvudledningen på samma sätt som förrådsluftbehållaren. Vid en nödbromsning med dess snabba tryckfall i ledningen så påverkas som förut emergency (vent) valve men nu släpper den dessutom in luften från nödbromsbehållaren i bromscyndern i kombination med den som eventuellt kommer från förrådsluftbehållaren. Detta ger ett högre tryck i bromscyndern och kraftigare bromsverkan. En nödbromsning medför därför risker. Den kan leda till att hjulpar bromsas fast med hjulplattor som följd, skador på transporterat gods och att tåget spårar ur.

### **UDE – Undesired Emergency Application**

Med UDE (Undesired Emergency Application) menas en icke önskad nödbromsning. Den kan utlösas av ventilfel på bromssystemet i någon vagn och sprids sedan snabbt till nödbromsning i hela tåget

### **Quick Service och Quick Service Reservoir (Inshot)**

Vid normal driftbromsning så töms huvudledningen till önskat tryck vid tågbromsventilen framme på främsta loket, vilket tar tid, särskilt vid långa tåg. Detta leder som förut nämnts till att främre delen av tåget bromsar tidigare än de bakre delarna

vilket leder till längre bromssträcka och stora längskrafter (slack action). För att förbättra detta finns en anordning, *Quick Service Reservoir (Inshot)*. Styrventilen har modifierats så att när en vagn känner att ledningstrycket sjunker ca 1–1 1/2 psi öppnar styrventilen en passage från huvudledningen till en behållare ”*quick service reservoir*” dimensionerad med sådan volym i förhållande till vagnens huvudledning att trycket i huvudledningen sänks 6 psi. När föraren gör en långsam trycksänkning i huvudledningen upp till 6 psi så startas i varje vagn omedelbart en trycksänkning till 6 psi. Detta leder till en snabbare bromsansättning längs tåget. Men trycksänkningen är inte så snabb att den utlöser den ovan beskrivna *emergency vent valve*.

### **Quick Release – Anordning för snabbare lossning av bromsen.**

På grund av den långa huvudledningen i långa tåg och de störningar i form av strypningar i kopplingsventiler och kopplingsnåvar mm tar det lång tid att fylla huvudledningen vid lossning av bromsen, särskilt som förrådsluftbehållaren i varje vagn börjar fyllas vilket tar mycket luft från huvudledningen och fördröjer vida mer än vid bromsning. Detta medför att bromsarna lossas först i tågets främre del medan den bakre delen bromsar. Detta kan försvåra igångsättningen av långa tåg. Om tåget acceleras antingen av dragkraft från lok i tågets främre del eller av att tåget t ex befinner sig vid ett krön med brant utförlutning samtidigt som bromsen lossas får man därför det motsatta förhållandet mot vid bromsning, stora längsdragkrafter i stället för tryckkrafter.

Detta problem försökte man först lösa genom att införa en strypning i förbindelsen mellan huvudledningen och förrådsluftbehållaren. Härigenom fördröjdes laddningen av förrådsluftbehållarna och man fick snabbare upp trycket i huvudledningen och därmed snabbare lossning av bromsen längs tåget. Efter hand som man ökade tåglängder blev denna metod otillräcklig. Dessutom ökade den naturligtvis tiden för att ladda hjälpluftbehållarna och den tidigare beskrivna risken för bromsutmattning, dvs. att få dålig bromsverkan när man behöver bromsa på nytt.

En modernare metod är att utnyttja den tidigare beskrivna *emergency reservoir* som är laddad till huvudledningstrycket, t ex 90 psi, och var avsedd att användas vid nödbromsning. Styrventilen modifieras därför så att när bromsen skall lossas sker följande på varje vagn:

- 1) luften i bromscylindern släpps ut i atmosfären som förut
- 2) huvudledningen ansluts till förrådsluftbehållaren för att ladda den som förut
- 3) *emergency reservoir* (med 90 psi tryck) ansluts till huvudledningen för att släppa in en viss mängd luft varvid trycket i ledningen stiger snabbare

Man får på detta sätt en snabbare lossning av bromsarna längs hela tåget, men samtidigt har trycket i *emergency reservoir* minskat och man har sämre nödbromsförmåga tills *emergency reservoir* blivit uppladda på nytt.

### **Risk för oavsiktlig lossning av tågbrömsen med Quick Release metoden**

Quick release metod att snabba upp tryckstegringen och dess utbredningshastighet längs tåget genom att släppa in luft i ledningen i vagnarna i kombination med direktlossningsprincipen medför ökad risk för oavsiktlig lossning av tågbrömsen i hela tåget. På liknande sätt som nödbromsningen automatiskt och snabbt utbreder sig om nödbromsning väl startat någonstans i tåget utbreder sig här lossningen av bromsen om den startar någonstans i tåget. Det är den direktlossande bromsegenskapen i

kombination med tryckstegringen som snabbt sprider sig i ledningen som gör detta. Det som behövs för att utlösa detta är en oavsiktlig tryckstegring eller tryckpuls någonstans i tågets huvudledning.

Det kan t ex uppstå på följande sätt: Anta att föraren bromsar fast tåget för att koppla från loket. Trycket har sjunkit i ledningen och tåget bromsar har gått till men föraren fortsätter att släppa ut luft vid förarventilen. Om nu växlaren som skall koppla från loket snabbt stänger kopplingsventilen på främsta vagnen uppstår en tryckstöt i huvudledningen på den främsta vagnen då luftflödet abrupt stoppas. Detta kan föranleda att bromsen i den första vagnen lossar. Quick release- funktionen kan då utlösa en kedjereaktion så att bromsarna i hela tåget lossar. Med den äldre AB-ventilen som saknade quick release-funktionen var problemet mindre.

Quick release-funktionens egenskaper måste beaktas då man inför nya funktioner i tåget där det finns risk för att oavsiktligt utlösa att tågbrömsen lossas. Då man använder sig av fördelad dragkraft, DP, med fjärrstyrda lok inkopplade i mitten eller bakre delen av tåget medverkar dessa lok i både luftförsörjningen i huvudledningen och som extra utsläppsventiler i ledningen vid tågbrömsning. Det gäller då att dessa fjärrstyrda lok inte stör bromssystemet genom att mata luft när tåget skall bromsas eller på annat sätt stör bromssystemets funktion.

### **Styrventilernas uppbyggnad – Service respektive Emergency Portions**

Westinghouse styrventil (control valve) typ AB använde en gammal teknik med kolvar och mässingsslider och portar i cylinderväggarna och som måste smörjas med grafit och var underhållskrävande. Föroreningar och korrosion kunde medföra att mekanismerna kärvade fast. Quick Action och retainerfunktionen var införd på denna version. AB-ventilen består av två enheter, ”service portion” som styr driftbromsningen och ”emergency portion” för nödbromsning. Dessa två enheter sätts fast med tre bultar från motsatta sidor mot ett mellanliggande fäste (pipe bracket) med erforderliga luftkanaler. Genom lufthålen ansluts ventilsystemen till luftkanalerna. Var och en av de tre enheter väger ca 30 kg (65 pounds). Det är därför lätt att ta loss och byta ut en felaktig service eller emergency portion och montera dit en ny, vilket gör att bromssystemet är service- och underhållsvänligt.

Fästet (pipe bracket), som normalt inte behöver underhåll och service, är däremot inte så lätt att byta eftersom fem luftledningar är anslutna dit:

- Huvudledningen (brake pipe)
- Bromscylindern
- Förrådsluftbehållaren (auxiliary reservoir)
- Nödbromsbehållaren (emergency reservoir)
- Retainer, som avleder luft från bromscylindern till retainerventilen antingen för vidare utsläpp till fria luften alternativt för att bibehålla visst cylindertryck enligt retainerfunktionerna (det beskrivs i det följande)

Med ABD-ventilen ersattas kolvar och slider med gummimembran och med gummi-packningar. Den blev därmed funktionssäkrare och underhållsvänligare. Funktionerna Quick Service och Quick Release som beskrivits ovan tillkom också. Det har tillkommit nya vidareutvecklade varianter som ABDW och ABDX .

## Lokbromsar.

På de amerikanska dieselelektriska loken finns dels en direktverkande tryckluftbroms (straight air brake eller independent brake) och dels en elektrisk dynamisk broms.

GM EMD nya dieselelektriska lok serie 66, i Sverige littera T66, som bl a används i England, Norge och Sverige saknar dynamisk broms. Anledningen är att loket utvecklats för att passa inom den begränsade engelska lastprofilen. Det fanns därför inte tillräckligt utrymme för de elektriska bromsmotstånden och kylanordningarna.

## Lokets direktverkande tryckluftbroms

Den direktverkande lokbromsen kan styras av föraren via en särskild direktbromsventil med ett direktbromshandtag (independent brake handle), oberoende av tågbronsen. Till skillnad från den indirekta tågbronsen är lokbromsen en direktbroms, dvs. luft från tryckluftbehållaren släpps direkt fram (straight) till lokets bromscylindrar via direktbromsventilen och påverkar kolven. Kolven ansätter lokbromsen på samma sätt som på vagnarna via bromsrörelsen. Direktbromsen används när man bara vill bromsa loket (alla multipelkopplade lok bromsas kollektivt) t ex vid växling eller för att hålla kvar ett tåg som stannat på horisontellt spår eller vid en måttlig lutning där lokbromsarna räcker till.

När tåget bromsas via tågbronsen finns en anordning som också släpper fram luft till lokbromsen för samtidig och samordnad bromsning av loket. Detta är inte alltid önskvärt, särskilt inte om man vill göra *power braking* eller *stretch braking*, dvs. både ”gasa och bromsa” samtidigt för att minska problemen med längskrafter och ryck (slack action). Lokföraren kan därför hindra eller minska lokets samtidiga bromsning genom ett förfarande kallas ”bailing off the air” eller mera korrekt ”actuating off the air” vilket innebär att önskad mängd luft släpps ut från lokets bromscylinder.

## Motståndsbromsning (Dynamic Braking eller Resistive Braking)

Dieselelektriska lok är dessutom utrustade med *dynamiska* (el-) bromsar. Bromsningen sker genom att drivmotorerna används som generatorer. Den alstrade energin förbrukas i speciella luftkylda bromsmotstånd (*motstånds-* eller *resistiv broms*). På elektriska lok kan alternativt elbroms med *återmatning* till kontaktledningen förekomma (*regenerativ broms*). Detta förutsätter att banmatningssystemet kan ta emot den återmatade energin och omfördela den till förbrukare, t ex andra tåg. Den bromskraft som en elbroms kan ge är relativt låg och den avtar kraftigt vid låg hastighet (under ca 20 km/h), för att slutligen bli noll vid riktigt låg hastighet. Den är därför bara ett komplement till tryckluftbromsen men ändå ett viktigt sådant.

Den dynamiska bromsen medger en betydligt snabbare och bättre reglering av bromskraften än med tryckluftbromsen. För att minska risken för att utmatta tryckluftbromsen då föraren växelvís behöver bromsa och lossa för att reglera farten vid långa varierande utförslut, ibland med stigningar emellan där man behöver minska bromsningen, användes tryckluftbromsen för en konstant driftbromsning av lämplig storlek medan elbromsen används för att variera bromskraften efter behovet. Genom att använda den dynamiska bromsen minskas den termiska belastningen liksom övrigt slitage på hjul och bromsblock i tåget.

## Multipelkoppling av lok



Multipelkoppling används vid lok som går intill varandra i en sammanhållen lokgrupp (*locomotive consist*). Då styrs bl a dragkraften, den direkta lokbromsen och den dynamiska bromsen i övriga lok av föraren på det ledande loket. Samtliga lok styrs gemensamt med det ledande som om de vore en enda enhet. Genom gemensamt utnyttjande av kompressorer och huvudbehållare i samtliga lok förbättras tågets luftförsörjning och laddning av bromssystemet kan ske snabbare. Vid multipelkopplingen kopplas loken samman med ett antal luftslangar och en multipelkabel. Genom AAR standardisering och normer kan olika typer av amerikanska diesellok multipelkopplas med varandra.

På amerikanska diesellok finns ett körhandtag med lägen för stop av samtliga dieselmotorer, idle (tomgång) samt körläge 1 – 8. För dynamisk bromsning finns ett handtag med 0-läge samt fyra bromslägen 1 – 4. Samtidig körning och dynamisk bromsning är inte möjlig. Det hindras genom en spärr som kräver att endast ett handtag åt gången kan flyttas från 0-läget (interlocking). *Multipelkabeln* med 27 ledare används för att styra olika funktioner hos de multipelkopplade loken som *körläge (trottle)*, *strålkastare*, *fram/back omkastare (reverser)*, *kompressorer*, *fält- och magnetiseringslindningar på generatorer*, *dynamisk bromsning*, *varningsklocka*, *sandning o s v*. Det går fyra slangar samt en multipelkabel mellan varje lok. På äldre lok kan en femte kabel finnas för tryckluftstyrd sandning.

De slangarna, utöver huvudledningen (brake pipe, som behövs för multipelstyrningen är: *MR (main reservoir)* som kopplar samman samtliga loks huvudbehållare, *ACT (actuating)* som trycksätts för ”*bail off*” för att lossa direktbromsen på samtliga lok, *BC (brake cylinder)* sätts till ett styrtryck motsvarande den bromsverkan som föraren önskar få med direktbromsen. Men det finns ingen direkt hopkoppling av bromscylindrarna i de olika enheterna. En speciell ventil (relay air valve) känner av styrtrycket och omvandlar det till ett proportionellt cylindertryck anpassat för den aktuella loktypen.

### **Equalising Reservoir**

Vid driftbromsning släpper föraren via bromshandtaget och förarventilen ut luft så att han får ett önskat ledningstryck och däremot svarande bromsverkan. Då han ställer handtaget i *bromsläget (application position)* strömmar luften ut genom ett litet hål så att ledningstrycket sakta sjunker. Föraren kan avläsa ledningstrycket på en manometer. När trycket sjunkit till önskat nivå ställer föraren ventilen i *mittläget (LAP position)* varvid utsläppet stängs.

Denna metod användes bara på de tidiga systemen. Med ökad tåg- och bromsledningslängd tar det lång tid för att släppa ut luft och att föraren då måste iaktta manometern hindrar hans uppmärksamhet på annat och blir en säkerhetsrisk. Därför infördes en liten behållare (*equalising reservoir*) med liten volym i förhållande till bromsledningens. Dess tryck kan sänkas snabbt och föraren styr i stället detta tryck med bromshandtaget. En trycksänkning för en driftbromsning går snabbt och han behöver bara kontrollera manometer under några ögonblick och kan sedan vara uppmärksam på andra saker. En ventil (*equalising valve*) styr ledningstrycket så att det överensstämmer med behållarens (*equalising reservoir*).

### **Self Lapping Brake Valve**

Self Lapping Brake Valve infördes på 1950 – 1960- talet. Det är ett bromshandtag där handtagets läge ger en viss konstant bromsverkan. Därmed behöver handtaget inte föras tillbaka till mittläget för att bibehålla konstant bromsverkan.

### Feed Valve (Ledningstryckreglerare)

När bromshandtaget står i *gångläge (running)* ombesörjer *ledningstryckregleraren (feed valve)* att det valda nominella ledningstrycket hålls. Olika järnvägsbolag kan ha olika nominella ledningstryck, mellan 65 och 90 psi (4,5 till 6,2 bar).

### EOT (End Of Train) Device

På nordamerikanska godståg finns krav på en anordning som kallas *End of Train device (EOT)* med uppgift att bl a kontrollera bromsledningstrycket i tågslutet och att sista vagnen är med. EOT är batteridriven, har en röd slutsignallykta och står i radiokontakt med det främsta loket. Kommunikationen är tvåvägs, digital och kodad så att endast till det tåget hörande loket och EOT-anordningen kan kommunicera med varandra.

Vid nödbromsning kan föraren via radion utlösa en i EOT-anordningen inbyggd ventil för att snabbt tömma bromsledningstrycket från tågets båda ändar.

Anordningen har införts på senare år sedan det inträffat fall där kopplingsventiler i huvudledningen blivit avstängda, i några fall uppsåtligt.

### Retainers

I långa utförslutningar kan föraren behöva ansätta och lossa tågbronsen upprepade gånger beroende på varierande lutningsförhållanden eller på att han bromsat för kraftigt. Men eftersom bromsen inte kan lossas gradvis utan bara lossas helt leder det till att tåget omedelbart ökar farten. Om föraren omedelbart bromsar igen fås mindre bromsverkan denna gång eftersom förrådsluftbehållarna inte hunnit laddas upp.

Den långa tiden som krävs för att åter ladda förrådsluftbehållarna i vagnarna och att detta inte kan göras samtidigt som man bromsar utgör ett problem som man löst genom att införa en anordning i bromssystemet som kallas *retainer*.

En retainer fungerar på följande sätt:

När man höjer ledningstrycket och styrventilen därmed ställer om sig i lossläge ansluter den förrådsluftbehållaren till huvudledningen så att den börjar laddas. Styrventilen tömmer också bromscylindern genom att öppna dess kanal till fria luften så att bromsarna lossar. Retainerventilen sitter på ledningen från cylindern till fria luften för att begränsa eller förhindra tömningen av luften i bromscylinder. På detta sätt hålls luft av visst tryck kvar i cylindern. Ställs retainerns handtag på ett visst läge, t ex för 10 psi, innan bromsen lossas så hålls detta tryck kvar i cylinder förutsatt att inget läkage finns.

Det finns två typer av retainers, en med tre och en med fyra lägen. Lägena är

- EX (Exhaust ) Detta släpper ut luften på normalt sätt.
- HP (High Pressure) Håller kvar 20 psi tryck.
- SD (Slow Direct Exhaust) Släpper ut luften långsamt.
- LP (Low Pressure) Håller kvar 10 psi tryck.

På ett visst antal vagnarna i tåget ställs retainern manuellt till erforderligt läge innan utförslutningen. Föreskrifter från järnvägsbolaget anger kraven m h t linjeförhållanden. Konduktör eller någon annan går längs tåget och ställer om retainerhantagen på ett tillräckligt antal vagnar. När man sedan kommit ned måste dessa återställas manuellt.

Genom tillkomsten av den dynamiska bromsen har den rutinmässiga användningen av retainer minskat. Den kan behövas vid speciella tillfällen, i sådana lutningar där man inte kan lita på att lokbromsarna kan hålla tåget parkeringsbromsat, t ex då:

- Tåget stannat för att man behöver ladda bromssystemet (risk för utmattning).
- Tåget stannat p g a slangbrott och man behöver byta slang.

Alternativet är att en besättningsman går ut och drar ett tillräckligt antal skruvbromsar, som sedan åter skall lossas då man lagat felet eller laddat till fullt tryck. Ett tungt och tidskrävande arbete. Sedan man laddat måste man bromsa tåget med tryckluftbromsen innan man kan lossa skruvbromsarna och då förbrukas en del av luften man just laddat.

### Huvudledningstryck och point of equalisation

Som tidigare nämnts förekommer olika nominella ledningstryck på olika amerikanska järnvägar, vanligen 80 eller 90 psi men varianter från 65 till 100 psi förekommer.

Anledningen till att t ex banor i bergsområden väljer höga tryck är att med ett högre ledningstryck kan man få ut ett högre bromscylindertryck.

Under normal driftsbromsning, t ex en sänkning av ledningstrycket med 10 psi blir bromscylindertrycket detsamma oavsett om ledningstrycket från början var 100, 90 eller 80 psi nämligen  $2,5 \cdot 10 = 25$  psi.

Om man med utgångsläge 90 psi gör en trycksänkning på 26 psi blir cylindertrycket  $2,5 \cdot 26 = 64$  psi. Trycket i ledning och i förrådsbehållare blir  $90 - 26 = 64$  psi. Trycket i cylinder och behållare är nu lika (equal) och en ytterligare sänkning av ledningstrycket leder inte till högre bromscylindertryck. Sänkningen på 26 psi gav alltså full broms (full service brake). Den amerikanska godstågsbromsen är fortfarande konstruerad för tryckrelationen 2:5:7 vilket innebär att en trycksänkning till 2/7 av det nominella huvudledningstrycket ger en ett cylindertryck på 5/7 av ledningstrycket. Det är den viktiga ”point of equalisation”. Den ger fullbroms och en ytterligare trycksänkning ger inget högre cylindertryck. Vid denna ”punkt” är trycket i förrådsluftbehållaren och bromscylindern utjämnat till samma tryck. Genom val av det nominella ledningstrycket kan detta värde (equalisation pressure) påverkas liksom storleken på den däremot svarande trycksänkningen i ledningen, se tabellen.

Ledningstryck	(psi)	70	80	90	100
Trycksänkning i ledningen	(psi)	20	23	26	29
Utjämnat tryck (equalisation pressure)	(psi)	50	57	64	71

Det finns två anledningar till att en del järnvägar i bergsområden med stora lutningar använder det högre trycket 100 psi. Det första är att man som vi sett får ut högre bromscylindertryck och större bromskraft vid fullbroms. Det andra är att man kan göra fler driftbromsningar med lossning utan att hinna ladda emellan. Om man t ex gör en bromsning med 10 psi från utgångsläget 100 psi, därefter lossar bromsen och snart därefter vill bromsa på nytt trots att behållarna inte hunnit laddas, har man kvar 90 psi tryck. Man har då det läge som järnvägar med 90 psi ledningstryck har från början.

Under åren har man höjt bromsverkan genom att efterhand gå mot allt högre nominellt ledningstryck. På 1920 talet var det vanligen 70 psi och den typiska vagnvikten var ca 40 ton, på 1940 talet användes 80 psi och vagnvikten steg till 55 ton. På 1950-talet var vagnvikten 70 ton, på 1960-talet 100 ton men fortfarande klarade man sig med 80 psi. Under 1970 talet steg vagnvikten för kol och sädesvagnar till 135 ton och då fick man

mycket små säkerhetsmarginaler med 80 psi. Koltågen kunde ha en tågvikt på 15000ton med lutningar på 12,5 %.

Under 1970 kom lagbestämmelser som krävde 80 psi för alla tåg utom för tungt lastade systemtåg för kol och säd som skulle ha 90 psi. För systemtåg gäller att tåget i regel är homogent beträffande vagnarnas lastläge, antingen är alla vagnar fullt lastade eller helt tomma vilket underlättar bromshanteringen. Det höjda nominella ledningstrycket förkortade bromssträckorna vid nödbromsning men medförde nya problem. Om ett tåg med ledningstrycket 90 psi skulle lämna vagnar till ett annat tåg med 80 psi måste man reducera det laddade trycket i vagnarna. Detta blev inte alltid gjort, i varje fall inte på ett riktigt sätt. Det medförde bromsanliggning på en del vagnar med skadade och överhettade hjul. När sedan tankvagnars och övriga vagnars bruttovikt kom upp till kol- och sädesvagnarnas började man införa lastväxlar och lastbromsautomater och föreskrev att 90 psi ledningstryck skulle användas för alla tåg. Det finns emellertid järnvägar som inte har tunga systemtåg, inga större lutningar och som fortfarande använder 80 psi ledningstryck. På vissa bangårdar och i matartrafik med låg hastighet används 70 psi.

Med lågt ledningstryck går det fortare att ladda bromssystemet. Höga ledningstryck ökar risken för fastlåsta hjul vid kraftig bromsning, särskilt vid tomma vagnar om lastväxel eller lastautomat saknas.

### **Empty/load Sensors**

Som nämnts ovan har lastväxlar och lastbromsautomater införts sent i USA. Det förekommer fortfarande vagnar utan dessa anordningar. Man har därför låg utbromsning jämfört med Europeiska förhållanden för att hindra att hjulen bromsas fast.

## Bilaga 3

# Litteratur och referenser

## Allmänt om järnvägssystem, tågfordon, bromssystem, koppel, stabilitets- och urspåringsproblem

Evert Andersson, Mats Berg: *Järnvägssystem och spårfordon, del 1 och 2*, KTH Järnvägsteknik

## Konventionella bromssystem

Knorr Bremse AG München; *Handbuch Bremstechnische Begriffe und Werte*

Gerhard Stieler: *Der Güterzug in Bremsstellung „Personenzug“*, Eisenbahn Technische Rundschau 44 (1995) H. 12 Dezember

Evert Andersson, Mats Berg: *Järnvägssystem och spårfordon, del 2, kapitel 15*. KTH Järnvägsteknik

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *Brakes – How they work on North American Freight Trains - by Al Krug*

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *Air Brakes – How the basic air brake system works with diagrams and including some developments and enhancements.*

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *Brakes Glossary*

## Verkställande bromsanordningar

International Railway Journal, June 2002, sid 22-23: *Tests show ceramic Coated Disk Brakes Have Potential (Tests show that new brake pad materials are needed for ceramic disk brakes, and the durability of different ceramic coatings needs to be examined)*

Hans-Reinhard Ehlers, Ekkehard Gärtner: *Potenziale und Grenzen der Klotzbremse in Vergleich zur Scheibenbremse*, Glasers Annalen 126-617, 2002 sid 290-300

## Ljuddämpande teknik som berör bromsteknik

Markus Hecht: *In search of a quieter, lighter freight bogie*, Railway Gazette International, September 2002, sid 263

Enrico Mingozzi, Gerard Presle, Sebastian Rutz: *Das LNT-Project – Lärmreduktion bei Güterfahrzeugen*, Eisenbahn Technische Rundschau Januar/Februar 2004, sid 70-74

Eisenbahn Technische Rundschau Januar/Februar 2004, sid 75: *Mit K-Bremssohle Lärm mindern*

## Elektropneumatiska bromssystem

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *PBL 90 Electro-Pneumatic Brake Control System*

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *Electro-Pneumatic Brakes*

## ”Brake-by-wire” och andra datorstyrda icke pneumatiska bromssystem

Roger Johansson: *Privat kommunikation* Data och elektronik, Chalmers Lindholmen

Roger Johansson: *Dependability characteristics and safety criteria for an embedded distributed brake control system in railway freight trains*, Report no.8, August 2001, Data och elektronik, Chalmers Lindholmen

Johansson R, Johannesen P, Forsberg K, Sivencrona H, Torin J: *On communication Requirements for Control-by-Wire Applications*, PROCEEDINGS of the 21<sup>st</sup> INTERNATIONAL SYSTEM SAFETY CONFERENCE-2003

## Elektromekaniska bromssystem

SAB-WABCO Broschyr: *Electro Mechanical Brake System Actuator Type EBC*

Ny Teknik 1992:48: *Tåget bromsar med datorstyrd fjäder*

## Elektrisk motstånds- och regenerativ bromsning

Satoru Sone: *Tsukuba Express close to ultimate electric braking system*, Railway Gazette International, June 2003, page 391-393

## AAR kabel- och radiobaserade ECP-bromssystem

Fred Carlson, Privat kommunikation, Transportation technology Center, Inc. (TTCI) Pueblo Colorado, USA

Frederick G. Carlsson, Alfred J. Peters (AAR/TTCI): *Electronically-Controlled Pneumatic (ECP) Brakes – Implementation Through Cooperation*, WCRR, Colorado Springs, Colorado, USA, 17-19/6 1996

Brian Smith, Fred Carlson (AAR/TTCI): *Electronically Controlled Pneumatic (ECP) Brake Systems*, WCRR, Köln, 25-29/11 2002

Internet: <http://www.tsd.org/ecpbrake.html> : *Electronically Controlled Pneumatic Brake, Technical Briefing*, Prepared by Paul Niquette, Revised March 6, 1997

Railway Age, August 1998, sid 55-, *How R&D is shaping the 21<sup>st</sup> Century railroad*

PROGRESSIVE RAILROADING, November 1998, sid 31-37

Mikel Popke: *Braking through: ECP slowly gains ground*, Progressive Railroading, November 1998 p 34

Railway Age, September 1999, sid 61-, *Elektro-pneumatic brakes, AAR moves toward a standard*

PROGRESSIVE RAILROADING, November 1999, sid 39-40, *Market Made to Spec? Release of cable, radio specifications could fuel interest in ECP brakes*

Railway Age, January 2000, *Are we there yet? The slow journey to electronically-controlled pneumatic braking should pick up speed with pending AAR specs. suppliers are ready. Are the railroads?*

International Railway Journal, April 2000, *Switch to ECP Brakes in heavy haul Takes Time*

Railway Age, October 2000, sid 50-52, *ECP braking gets results. Field trials in Canada and Australia are illustrating the benefits of electronically controlled pneumatic braking systems*

Railway Age, January 2001, sid 56-59, *ECP: How soon?*

BNSF Today, <http://www.bnsf.com/media/articles/2001/07/2001-07-03-a.html> BN SF Moves Heaviest Load Ever (*BNSF transporterade sin tyngsta last någonsin, 20484 netto ton taconite i ett ECP-bromsat tåg med 180 vagnar den 18/6 2001*)

International Railway Journal, August 2001: *Rail Operators And Wagon Owners Benefit From ECP*

Railway Age, January 2002, sid 33-, *ECP: A waiting game*

---

Railway Gazette International, January 2002, sid 7: *Richards Bay to use ECP braking*

Railway Age, March 2002, sid 25: *TTCI goes global*

Fred Carlson: *Railways Start to Realize Benefits of ECP Technology*, International Railway Journal June 2002, sid 19-20

Wabtec, Press Release, August 12, 2002: *Wabtec signs \$12 Million Contract With Queensland Rail, Continues International Expansion Of On-Board Electronics Equipment (Avser utrustning huvudsakligen för lokomotiv avseende kabelbaserad ECP-bromsar samt både kabel/radiobaserad DP samt EOT-utrustning m.m.)*

Railway Age, January 2003, sid 54-55: *Taking a brake from the norm. Elektropneumatic brakes on freight trains are becoming more common. Choosing which type of ECP system to install depends on the type of service in which the cars operate.*

Railway Age, January 2004, sid 65 – 66: *What's putting the brakes on ECP in the U.S.?*

International Railway Journal, January 2004: *The Intelligent Heavy-Haul Train Is Here To Stay*

Railway technical Web Pages: <http://www.trainweb.org/railwaytechnical/>, *Brakes – ECP brake systems*, written by Randy Buchter

## AAR kabelbaserade ECP-broms

Cliff Smyrl: *Benefits of a Distributed Electro-Pneumatic Brake control system for freight Trains using LonWorks® Technology*, LONUSERS@International Spring 1998 Conference ([www.knightronix.com](http://www.knightronix.com))

AAR Manual of Standards and Recommended Practices. ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) CABLE-BASED BRAKE SYSTEM—PERFORMANCE REQUIREMENTS, Standard S-4200

Wabtec hemsida: <http://www.wabtec.com>

Wabtec, broschyr: *ECP-4200 Electronically Controlled Pneumatic Brake System*, 2 sidor

New York Air Brake (NYAB), hemsida: <http://www.nyab.com/>

Zeftron Inc, Montgomery, Illinois, USA, Hemsida: <http://www.zeftron.com>

Robert Kull, Wabtec, Privat kommunikation

James Zemyan, Wabtec: Privat kommunikation

Bryan McLaughlin, New York Air Brake: Privat kommunikation

Marshall Beck, New York Air Brake: Privat kommunikation

## AAR radiobaserade ECP-broms och radiobaserade DP

R J Foy, GE-HARRIS Railway Electronics, L.L.C, Privat kommunikation

Mike Darby, Vice-President Railways, BHP Billiton Iron Ore, Privat kommunikation

AAR SPECIFIKATION (DRAFT) S-4300 PERFORMANCE REQUIREMENT FOR ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC (ECP) RADIO\_BASED FREIGHT BRAKE SYSTEM (UTKAST)

Tony Lynch, BHP Iron Ore and David Peltz, GE-Harris Railway Electronics:

*IMPLEMENTING ELECTRONICALLY CONTROLLED PNEUMATIC BRAKING SYSTEMS*, 26 pages

## Alternativa kabel- eller radiobaserade system för bättre fjärrstyrnings- och bromsegenskaper inom AAR

Robert Kull, Wabtec: *New Train Braking Systems for Train Handling Improvement*, Paper presented to: Association of American Railroads 2000 Damage Prevention & Freight Claim Annual Session–Portland Oregon July 20, 2000

Wabtec, Informationsbroschyr: *HELPERLINK™, “On the Fly” Uncoupling System*

Robert Kull, Wabtec, Privat kommunikation

James Zemyan, Wabtec: *Privat kommunikation*

---

## Europeiska datorstyrda pneumatiska bromssystem och ”Intelligenta godståg”

Allmänt

Internetinformation: <http://www.eri.nl/conferences/98feb.html> :

ERRI Interactive Conferences 1998: High Productivity Freight and ECP Brake Paris, 4 & 5 February 1998, ( Innehåller en kort sammanfattning och delegaternas rekommendationer för den fortsatta utvecklingen. Avser utvecklingsstrategi, betonar vikten av att utnyttja vad som redan finns för att reducera utvecklingskostnaderna)

### Om EBAS

Egbert Sonder:*Elektrische/elektronische Brems-Abfrage und Steuerung für Güterzüge*, ZEVrail Glasers Annalen 119 (1995) Nr. 11/12 November/Dezember, sid 505-512

Stefan Witte: *CAN in Güterzügen Feldbus-Technik*, artikel på Internet <http://www.elektroniknet.de/topics/automatisieren/fachthemen/artikel/1998/98016.htm>

### Om FEBIS/EFIS

Frank Minde, Stefan Witte: *FEBIS: Kommunikationsbasierte elektronisch gesteuerte bromse*, EisenbahnTechnisches Rundschau, Mai 2001

Frank Minde, Dario Barberis, Alain Bonnet: *FEBIS: Kommunikation-based electronically controlled brake*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

Stefan Witte: *FEBIS System Aspects*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

Roberto Tione, Private communication SAB WABCO

## Fördelad dragkraft – Distributed Power, DP och pålok

AAR Manual of Standards and Recommended Practices Brakes and Brake Equipment: Specification S-4250-03, PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR ITC CONTROLLED CABLE-BASED DISTRIBUTED POWER SYSTEMS Adopted: May 1, 2003

GE Harris Harmon Railway Technology, GE Transportation Systems Global Global Signaling: *LOCOTROL® Distributed Power* , Informationsskrift 29 sidor



GE Harris Harmon Railway Technology, GE Transportation Systems Global Global Signaling: *LOCOTROL<sup>®</sup> Distributed Power*, Informationsbroschyr, 2 sidor

BHP Iron Ore Pty Ltd, broschyr: *BHP Iron Ore World Record Train, 21 June 2001*, (Om världsrekordtåget, utrustat med DP typ GE Harris Locotrol III. Tåget bestod av 8 lok, 682 malmvagnar, tåglängd 7,353 km, tågvikt 99732,1 ton, lastens nettovikt 82262,5 ton järnmalm. Avsikten var att prova Locotrol III systemets till dess fulla kapacitet i kombination med de nya lokomotiven typ General Electric typ AC6000 som BHP Iron Ore nyligen hade köpt).

Hoerl,Pohl, Witthuhn, DB AG: *Multiple Radio Remote Control of Locomotives in Train Sets at Deutsche Bahn AG*, WCRR, Köln 25-29/11 2001

Pulse Electronics (ett företag inom Westinghouse Air Brake Company); Broschyr: *HELPERLINK<sup>™</sup> "On the Fly" Uncoupling system*, 3 sidor

R J Foy, GE-HARRIS Railway Electronics, L.L.C, Privat kommunikation

Robert Kull, Wabtec, Privat kommunikation

James Zemyan, Wabtec: Privat kommunikation

## Försök med och införande av kabelstyrd DP/ECP-broms samt utvecklingsstrategier för lönsam tung godstrafik

Dave van der Meulen, Chief Engineer (Systemic Rail Solutions), Spoornet, South Africa: Privat kommunikation

Dave van der Meulen: "*Towards the next level of train handling technology*" presented at the 90<sup>th</sup> Convention, Air Brake Association, Chicago, September 1998

Dave van der Meulen: "*Evaluation of Wireline ECP Braking and DP on the Ermelo-Richards Bay Coal Export Line*", Presented at 92<sup>nd</sup> Annual Convention, Air brake Association, Chicago, September 2000

Dave van der Meulen: "*Progress with Evaluation of Cable-based ECP Braking and Distributed Power*", Presented at the 7<sup>th</sup> International Heavy Haul Conference, Brisbane, June 2001

Dave van der Meulen: "*Strategies for freight train integrated ECP braking plus distributed power*", Presented at World Congress on Railway Research, Köln, November 2001

Dave van der Meulen: "*Developing Business Cases For Integrated ECP Braking Plus Distributed Power*", Presented at the 94<sup>th</sup> Convention, Air Brake Association, Chicago, September 2002

Dave van der Meulen: "*Integrated ECP Braking Plus Distributed Power: From business Case To Strategic Context*", Presented at the South African society for Railway Engineering, 21 November 2002

Dave van der Meulen: "*Why heavy haul? Learning from the cost effectiveness of heavy axle loads in South Africa*", ERRI, UIC & UNIFE Heavy Haul: The solution for Europe's future? Paris 11& 12 March 2003

Dave van der Meulen: "*Globalisation and Open Architecture for Railways: A Role For Integrated ECP Braking Plus Distributed Power*", Presented at World Congress on Railway Research, Edinburgh, 28 September-1 October 200328 September-1 October 2003

