

Först publicerat 2004-02-16
Reviderat 2005-09-01

Danska och norska lokomotiv från tiden kring 1980

Tomas Larsson

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
2	Hur fungerar drivsystem med asynkronmotorer?	4
3	DE- familjen	7
4	De tre ellokomotiven	10
5	De tre lokomotivens elektriska drivutrustning	14
6	Slutsats	16
	Översikt data ellokomotiv	17
	Översikt data dieselelektriska lokomotiv	19
	Kronologi asynkronlok med mjuka boggier	21

Danska och norska lokomotiv från tiden kring 1980



Bild 1 Ett danskt dieselelektriskt lokomotiv av typen ME vid Köpenhamns centralstation. ME- lokomotivet baserar sig till stor del på det norska Di4- lokomotivet. ME- lokomotivet har en största tillåtna hastighet (sth) av 175 km/h och drivs av en kompressormatad tvåtaktsdiesel från amerikanska General Motors. Loket beställdes under 1979 och styckpriset var för de första 7 lokomotiven cirka 21 mkr (prisnivå 2000).
Foto: författaren, Köpenhamn februari 1988

1. Inledning

Under 1977 provkörde den norska statsjärnvägen (NSB) och den danska statsjärnvägen (DSB) en ny generation lokomotiv av typen DE 2500 på sina spår. Den nya generationen lok var tillverkad i Västtyskland och utrustad med såväl asynkronmotorer som mjuka boggier. Under november 1978 beställde NSB en ny generation dieselelektriska linjelokomotiv, benämnd Di 4. Lokomotivet utgjorde en vidareutveckling av NSB:s sexaxliga diesellokomotivflotta och var ett tungt lokomotiv med sth 140 km/h. Lokomotivet fick ett stort utrymme i järnvägspressen eftersom det utrustades med en ny generation kraftöverföring med växelströmsmotorer av asynkrontyp. Dessutom utrustades det med en ny generation spårvänliga boggier, benämnd Flexifloat, som resulterade i låga spårkrafter. Under 1979 beställde DSB en ny generation diesellok, benämnd ME, som till allra största delen baserade sig på Di 4- lokomotivet.

Asynkronmotorn i sig var dock inte någon nyhet då den har använts sedan 1800-talet. Motortypen är sedan länge mycket vanlig inom industrin och hushåll då den kräver lite underhåll. Till skillnad mot andra elmotorer behövs inga underhållskrävande borstar vilket gör att den både är underhållsfri och kompakt. Dessutom är risken betydligt mindre för överbelastning jämfört med andra motortyper, vilket är speciellt viktigt vid tunga starter. Asynkronmotorn har dock inte kunnat användas i någon större utsträckning i applikationer där reglerbart varvtal krävs. För att reglera varvtalet måste strömmens frekvens kunna regleras vilket görs med en så kallad växelriktare. Tekniken möjliggjorde detta för järnvägsfordon först under slutet av 1960-talet då nya halvledare för höga effekter lanserades.

Första gången som den nya tekniken lanserades för kommersiell järnvägsdrift var redan år 1970 när de två västtyska företagen Rheinstahl Transporttechnik (senare Henschel) och BBC (senare ABB) presenterade en ny generation dieselelektriska lokomotiv med beteckningen DE 2500 (DB-littera 202). Totalt tre stycken prototyplokomotiv tillverkades med namnen "Vita jätten", "Röda oxen" och "Blå bocken". Lokomotiven var förberedda för trafik på de latinamerikanska, asiatiska och afrikanska smalspårnäten genom att de kunde levereras med boggier för spårvidden 1.000 mm och med smal konstruktionsprofil.

Införandet av den nya motortypen utgjorde startskottet för en ny generation elektriska drivfordon hos DSB och NSB. Såväl dieselelektriska som elektriska drivfordon sattes i trafik från Bodö i norr till den dansk-tyska gränsen i söder. Gemensamt för dessa fordon var att den elektriska utrustningen tillverkades av den schweiziska koncernen BBC.



Bild 1B Det norska diesellokomotivet littera Di 4 vid stationen Mo i Rana på linjen Trondheim- Bodö (73 mil). Lokomotivet har mycket stora likheter med det danska lokomotivet ME 1500 men har mjukare infästningar av axelboxarna , tryckdragstång för boggiförankringen i längsled (istället för boggitapp) samt mjukare upphängda drivmotorer, allt för att skona bana och hjulflänsar. Loket är utrustat med den sextoncylindriga tvåtaktsdieseln 645-E3B från General Motors med effekten 2,4 MW, men är även förberett för den starkare 645-F3 (se även Tabell 3) med effekten 2,8 MW. Di4- serien beställdes under hösten 1978.
Foto: www.finnmoller.dk, augusti 2000

2. Hur fungerar drivsystem med asynkronmotorer?

Gemensamt för drivsystem hos järnvägsfordon är att dragkraften inom hela fartregistret, det vill säga från stillastående till full hastighet, skall kunna maximeras. Dock begränsar friktionen mellan hjul och räl den maximala dragkraften vid främst lägre hastigheter medan motorernas maximala effekt begränsar vid högre hastigheter. Vid låga hastigheter riskerar lokomotivet att förlora sin dragkraft om hjulet börjar slira, det vill säga man försöker att ta ut mer dragkraft än vad friktionen medger. Det är därför viktigt att elmotorernas reglerutrustning har förmågan att snabbt känna av om hjulen börjar att slira (jämför låsningsfria bromsar hos bilar), det vill säga om varvtalet förändras onormalt snabbt per tidsenhet.

Asynkronmotorn är en enkel konstruktion som består av en rörlig del (rotorn) och fast del (statorn). Genom spolar i statorn som matas med tre färförskjutna växelströmmar (trefas) så skapas ett roterande magnetfält i statorn, vilket drar igång rotorn. Tåget börjar att rulla. Rotorns varvtal och rotationsriktning styrs av lokets reglerutrustning. Magnetfältets rotation i statorn står i direkt proportion till strömmens frekvens. Ju högre frekvens, desto högre motorvarvtal. Rotorn roterar något långsammare än statorns magnetfält (s k ”slip”), därav benämningen ”asynkron” (i motsats till synkron).

Det finns två typer av asynkronmotorer, dels med kortsluten rotor och dels släpringade. Statorn har i princip samma utförande i bägge varianterna men rotorn skiljer sig något. Den stora utmaningen är att skapa en växelström med varierbar frekvens. Matematiskt sett är växelspänningen en sinusfunktion där spänningen (strömmen) under en cykel varierar mellan de två toppvärdena 1 och -1. Hos tunga järnvägsfordon matas varje drivmotor med strömstyrkor uppemot 600 ampere (effektivvärde), spänningsnivåer uppemot 2.500 volt (effektivvärde) och frekvenser uppemot 200 Hertz.

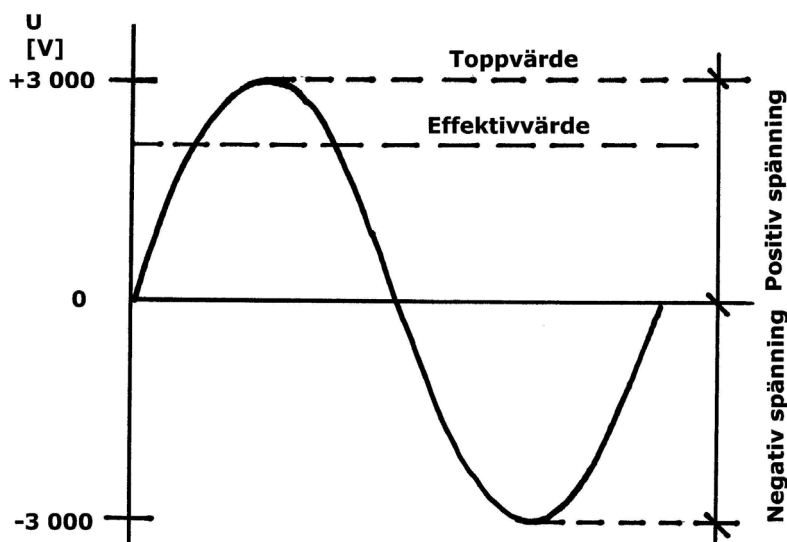


Bild 2. Definitioner växelspanning
Källa: författaren

Det enklaste sättet att bilda en växelström är att skapa en fyrkantvåg genom att en likriktad ström hackas upp med grova, regelbundna tidsintervall (s k trappstegsformad). Denna teknik är relativt enkel och lämpar sig för mindre laster (t ex tågvärme) samt mindre elmotorer av asynkrontyp (till exempel lokomotivens fläktar). En fyrkantig kurva tenderar dock att orsaka vibrationer i motorer vid låga varvtal varför typen är mindre lämplig för stora drivmotorer. Det är ur teknisk synpunkt betydligt svårare att bilda en ren sinuskurva för höga effekter men det är möjligt genom så kallad pulsbreddmodulering, även kallat PWM (engelska ”**P**ulse **W**idth **M**odulation”). Principen går ut på att maskinen bildar så pass många staplar att en sinusliknande kurva bildas, ett slags stapeldiagram med sinusliknande utseende om man så vill (se bild 4, höger). Observera dock att antalet staplar i verkligheten är betydligt fler, d v s kurvan blir jämnare (”mindre taggig”).

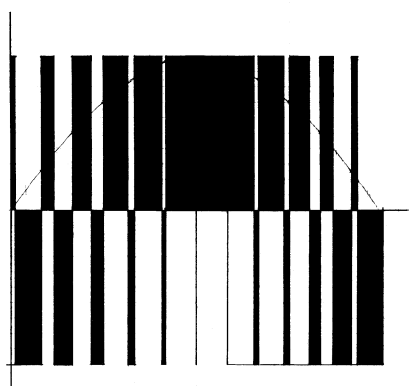


Bild 3 Styrsignalen till en halvledare för bildandet av en sinusvåg. Notera att första halv vågen i sinuskurvan ligger inritad i bakgrunden. Observera att **längden** på varje cykel är konstant, det är endast **pulsbredden** som skiljer sig.
Källa: författaren

Dessa staplar byggs av *två snabbväxlande ”strömbrytare” för varje fas* som pendlar extremt snabbt mellan lägena 0 (strypt) eller 1 (helt öppen). Genom att variera styrsignalens längd till strömbrytaren mellan 0 och 100 % (”Duty cycle”) kan strömbrytaren bilda en stapel med motsvarande höjd. För att kunna bilda ett roterande magnetfält i motorns stator krävs tre sådana fasförskjutna sinuskurvor 120 grader ($3 \times 120 = 360$ grader, d v s ett varv). Ett trefassystem behöver således $2 \times 3 =$ **6 stycken strömbrytare**. Ett trefassystem kan driva såväl en motor som flera, beroende på vilken koppling man väljer.

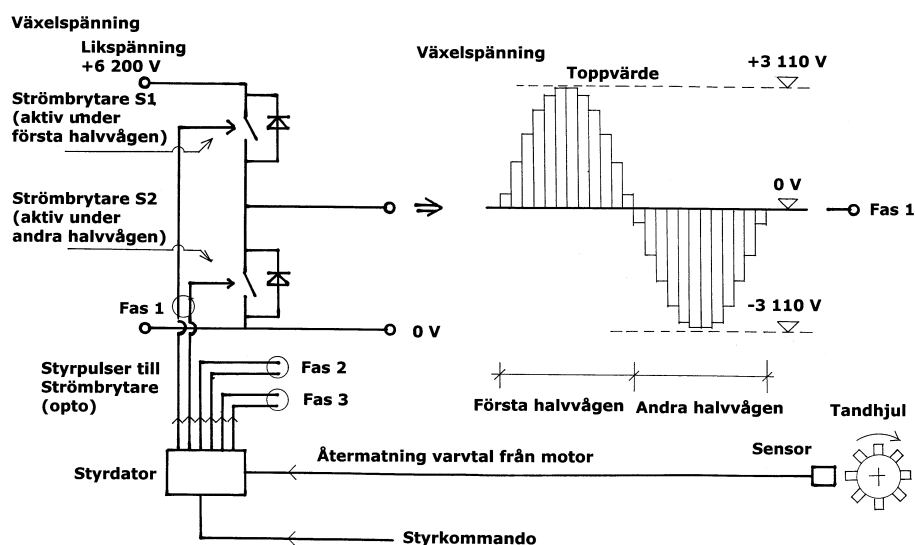


Bild 4 Principkoppling för en av tre faser (en s k halvbygga) för generering av växelspänning. Genom att parallellkoppla tre fasförskjutna halvbyggor (via tre matarledningar) erhålls en trefas växelspänning. Observera det höga spänningsvärdet på likspänningsmellankretsen (6.200 volt). Detta värde måste minst hålla samma nivå som skillnaden mellan växelspänningens positiva och negativa toppvärde.
Källa: författaren

För att minska effektförlusterna är det viktigt att omslagen sker snabbt. De bägge ”strömbrytarna” får dock aldrig vara slutna samtidigt (jämför bryggkoppling bild 4) då det skulle orsaka en kortslutning (d v s strömrusning och därmed överhettning). Därför är normalt tändsiganalen något fördröjd mellan växlingarna.

Såväl transistorer som tyristorer styrs genom att svaga styrsignaler reglerar strömflödet (jämför med att hålla in tryckknappen på en strömbrytare). En svag signal kan således styra mycket höga effektflöden. Av säkerhetsskäl måste dock denna styrsignal isoleras galvaniskt från högspänningsutrustningen, vanligen genom infraröda ljussignaler som leds via en spänningisolerad fiber.

En förutsättning vid drift av asynkronmotorer är att matningsströmmens frekvens hela tiden ungefär stämmer överens med motorns varvtal. Om detta inte sker förlorar motorn snabbt sitt vridmoment vilket drastiskt minskar dragkraften, motorn blir ”okontrollerad”. Det är därför viktigt att rotorns varvtal hela tiden övervakas så att matningsfrekvensen anpassas. Detta sker genom ett tandat hjul på rotorns axel övervakas av en beröringsfri sensor. Sensorns mätvärden (pulser) skickas kontinuerligt till motorens styrdator, som jämför dessa med bör- värdet.

I praktiken utförs de snabbväxlande strömbrytarna med en snabb halvledare. Vid lägre effekter (upp till några kilowatt) kan transistorer (till exempel MOSFET- transistorer) användas men vid högre strömstyrkor och spänningsnivåer är tyristorer, och då speciellt GTO:er, intressanta. GTO:n (**G**ate **T**urn **O**ff) är en vidareutvecklad tyristor som klarar spänningsnivåer uppemot 4.500 volt och strömstyrkor uppemot 6.000 ampere. Till skillnad mot konventionella transistorer är tyristorer något svårare att styra eftersom de behöver dels en startsignal för att börja leda och dels en avstängningssignal. För att minska effektförlusterna brukar dock även transistorers ledande fas avslutas med en hög, negativ spänning (ofta -20 volt).

Ett exempel på halvledare för höga effekter är IGBT- transistormodulen CM900HB-90H från det amerikanska företaget Powerex. Modulen har ytermåten 19 x 14 x 4 cm, väger 2,2 kg och klarar effekter uppemot 4 megawatt. Modulen motsvarar funktionellt sett *en* transistor och klarar en spänning på 4.500 volt. Vid full belastning avger modulen dock en värmeeffekt motsvarande flera kilowatt, vilket kräver en vatten- eller oljekyllad fläns dikt an mot modulens undersida.

Med spänningsnivån regleras effektuttaget men då friktionen mellan hjul och räl begränsar det maximala dragkraften upp till hastigheter kring 40-60 km/h vid ellokomotiv (= brytpunkten mellan friktions- och effektbegränsning vid torra räler) är det först vid denna hastighet möjligt att tillåta full spänning, det vill säga full effekt.

En utmaning ur konstruktionssynpunkt är generativ inbromsning då lokets drivmotorer arbetar som bromsar (generatorer). Effektflödet blir då det omvända och energin återmatas till kontaktledningen (vid eldrift) eller till någon form av värmeelement (tågvärme i vagnarna eller bromsmotstånd i loket). Vid provkörningar av västtyska asynkronlokomotiv (E 120) i bergrika områden i Schweiz och Norge kunde uppemot 40 % av energin återvinnas genom regenerativ inbromsning.

Utvecklingen inom området strömriktare har varit snabb. Jämför vi strömriktaren (totalt tre faser) hos prototyplokomotivet DE2500 under tidigt 1970-tal med strömriktaren hos den senaste generationen högprestandalok av typen 465 hos den schweiziska järnvägsoperatören BLS finner vi att den maximala effekten har ökat från 700 kVA till 3.766 kVA per enhet (under "ideala" förhållanden motsvarar 1 kVA = 1 kW).

Trefastekniken är oberoende av om dragfordonen matas via kontaktledning, strömskena eller generator. Därför är tekniken lämplig för såväl elektrifierade som oelektrifierade linjer. I bägge fallen likriktas och stabiliseras spänningen ("likspänningsbuss") innan den matas till växelriktaren, ofta någonstans kring 2.000...3.000 volt för högprestandafordon.

3. DE- familjen

Det tidigare nämnda DE2500-lokomotivet var resultatet av ett samarbete inom västtysk järnvägsindustri. Totalt tre prototyplokomotiv togs fram och det första lokomotivet döptes till "Vita jätten". Det provkördes för första gången juni 1970 och presenterades under 1971 på den Internationella trafikutställningen (IVA) i Hannover. Lokomotivet var en revolution inom järnvägsbranschen och hade följande data:

Beteckning	202 (tillverkarbeteckning DE 2500)
Första provkörning	juni 1970
Axelarr	Co-Co
Längd över stötytor	18.070 mm
Vikt	84,0 t
Max dragkraft	272 kN
Sth	140 km/h
Dieselmotoreffekt	1.840 kW
Elmotoreffekt	1.500 kW
Specifik effekt	17,9 kW/t

Källa: „Henschel- BBC- DE 2500 Ein Wendepunkt in der Lokomotivtechnik“, Eisenbahntechnische Rundschau, november 1971

Tabell 1. Snabbdata för det västtyska lokomotivet DE 2500 „Vita jätten“.

Lokomotiven genomgick ett intensivt provkörningsprogram och byggdes senare om för bland annat eldrift och höghastighetsprov (det senare benämnt "UmAn", Umkoppelbarer Antriebsmasse, omkopplingsbar drivmassa). I det senare fallet utrustades lokomotivet med en aerodynamisk front samt en vidareutvecklad boggi som orsakade mycket låga spårkrafter.

Efter det att DE2500- loket utvecklats inleddes ett intensivt marknadsföringsarbete mot olika järnvägsoperatörer. Det var främst följande delsystem som operatörerna riktade sitt intresse mot:

- * dieselmotorn
- * transmissionen
- * Flexifloat- boggin

DE 2500- lokomotivet provkördes även intensivt på bland annat branta järnvägar med fuktiga räler. Först ut med att beställa nya lokomotiv med Flexifloat boggiar var emellertid den egyptiska statsjärnvägen (ENR). Under 1975 startade leveranserna av inte mindre än 232 stycken sexaxliga, dieselelektriska lokomotiv med beteckningen AA 22 T. Sth sattes till 120 km/h och det utrustades med en bränsletank med en volym av inte mindre än 12.000 liter. Senare höjdes sth till 140 km/h. Två utmaningar för järnvägsingenjörerna var dels det dåliga spårslaget på det egyptiska järnvägsnätet och dels öknens fina damm som tränger in och sliter ner utrustningen. Ett robust kraftpaket med såväl dieselmotor som drivmotorer (likspänning) från amerikanska General Motors valdes. Under 1981 beställde även den irakiska statsjärnvägen (IRR) 82 stycken sexaxliga diesellokomotiv med beteckningen DEM 2500. Liksom de egyptiska lokomotiven var även de irakiska utsatta för höga temperaturer och damm.

Den första beställaren av lokomotiv med Flexifloat- boggiar **OCH** asynkronmotorer var den schweiziska statsjärnvägen (SBB), som under 1973 beställde ett mindre antal sexaxliga, dieselelektriska växellok av typen Am 6/6. Loket vägde 111 ton och hade sth 85 km/h.

DE 2500-lokomotivet provkördes även under 1970- talet i bland annat Norge och Danmark. Den blåmålade, sexaxliga individen 202 004-8 ”Blå bocken” provkördes i Norge under hösten 1977. NSB blev nöjda med lokomotivets transmission samt boggiar och under november 1978 beställde NSB fem stycken sexaxliga, dieselelektriska lokomotiv med beteckningen Di 4 (se bild 1B). För att minska spårslaget vid snäva kurvor utfördes hjulaxelns infästningar extra mjuka vilket bidrog till att hjulen ställde in sig radiellt i kurvorna, så kallade ”mjuka boggiar”. En annan utmaning var de tjälkott som förekom längs banan vilket ytterligare ställde hårda krav på goda gångegenskaper. Istället för den centraleuropeiska V-12:an på 1.840 kW valde NSB och DSB en amerikansk tvåtaktsdiesel med effekten 2.450 kW från General Motors. Loket sattes i trafik på Nordlandsbanan mellan Trondheim och Bodö.

Som tidigare nämndes var en av de tre centrala delsystemen i den nya generationen DE 2500- lokomotiv dieselmotorn. Lokomotivet var utrustat med en tysk V-12:a från MAN med kompressormatning. Likaså var lokomotivet utrustat med transmissionsutrustning med växelströmsmotorer av asynkrontyp från BBC. Studerar vi leveranserna av lokomotiv med Flexifloat- boggiar från Henschel till och med 1985 framträder emellertid en delvis annan bild:

Beteckning	Användarland	Operatör	Tillv dieselmotor	Drivmotortyp	Tillv transmission	Antal
DE 2500	(demo)	(demo)	MAN	AC	BBC	3
AA 22 T	Egypten	ENR	GM	DC	GM	232
Am 6/6	Schweiz	SBB	Pielstick	AC	BBC	6
Di 4	Norge	NSB	GM	AC	BBC	5
ME	Danmark	DSB	GM	AC	BBC	37
DEM 2500	Irak	IRR	GM	DC	GM	82
HGMU 30	Pakistan	PR	GM	DC	GM	30
Summa						395

Varav med amerikansk dieselmotor 98 % (läs General Motors)

Varav med amerikansk transmission 87 % (läs General Motors, med likspänningsmotorer)

Tabell 2 Översikt dieselelektriska lokomotiv med Flexifloat- boggiar från Henschel, till och med 1985
Källa: "Entwicklung und Lieferung von Lokomotiven mit Drehstrom- Leistungsübertragung", Thyssen Technische Berichte, nr 2/ 1985

Det framgår av tabellen ovan att operatörerna oftast valde amerikanska dieselmotorer och transmission istället för västeuropeiska. Endast 2 % av operatörerna valde västeuropeiska dieselmotorer och inte ens den hypermoderna växelströmstransmissionen med asynkronmotorer intresserade mer än 13 % av operatörerna. Den danska och norska statsjärnvägen utgjorde inga undantag vad gäller valet av dieselmotor då deras diesellokomotivflotta sedan länge var utrustade med kompressormatade tvåtaktsdieslar från General Motors. Låt oss därför lite närmare studera General Motors dieselmotorutveckling sedan början av 1930- talet.

Under 1933 utvecklade General Motors utvecklingsavdelning en tvåtakts dieselmotor, benämnd Serie 201. Motorn hade 8 cylindrar och en slagvolym på 26,3 liter. Under 1936 levererades det första dieselelektriska lokomotivet från den nya huvudfabriken La Grange (Illinois) till operatören Santa Fe. Lokomotivet vägde 100 ton och hade en dieselmotoreffekt på 442 kW.

Under 1938 började General Motors i Illinois att tillverka en ny generation tvåtaktsdieslar (Serie 567) med den specifika slagvolymen 567 kubiktum per cylinder (motsvarande 9,3 liter per cylinder). Ett av de första fjärrtågen som utrustades med 567- motorn trafikerade sträckan Washington DC- Miami. Såväl NSB som DSB lät redan under 1950- talet installera denna motorserie i sina linjelok. Det var dock först 1959 som General Motors kunde erbjuda 567- motorn med kompressormatning. Under mitten av 1960- talet hade den sextoncyindrige 567- motorn utvecklats till en effekt på 1.865 kW, vilket ansågs vara den praktiska gränsen. En ny generation dieselmotorer behövdes. GM använde samma slaglängd (10 tum) i den nya dieselmotorn men med utökad cylinderdiameter (från 8 ½ till 9 1/16 tum), benämnd ”645” (=10,56 liter slagvolym per cylinder). Den nya dieselmotorn kunde även erbjudas med kompressormatning (benämnd 645 E3) och fanns att få med antingen 12, 16 eller 20 cylindrar. Det var första gången som en amerikansk motortillverkare kunde erbjuda en 20- cylindrig dieselmotor för ett lokomotiv. Det visade sig dock att den 20- cylindrige motorn inte var lika ekonomisk i drift som den 16- cylindrige varianten. Under 1965 kunde GM erbjuda det nya sexaxliga, amerikanska diesellokomotivet Serie SD 40 med en 16- cylindrig dieselmotor.

Det nya lokomotivet Serie SD 40 blev en storsäljare men samtidigt fanns ett behov av högre effekt. General Motors lät därför vidareutveckla den 16- cylindrige dieselmotorn med en effekt av 2.840 kW, det vill säga **mer** än den gamla 20-cylindrige 645- motorn från 1960- talet! Från och med 1979 kunde GM även erbjuda en ny generation sexaxliga diesellokomotiv med beteckningen Serie SD 50.

Beteckning	Serie SD 40	Serie SD 50
Axelarr	Co-Co	=>
Lansering	1965	1979
Sth	105 km/h	112 km/h
Vikt	167,0 t	=>
Stax	27,8 t	=>
Motorbeteckn	645 E3	645 F3
Cylinderantal	V-16	=>
Dieselm .effekt	2.240 kW	2.840 kW

Tabell 3 Översikt utvecklingen av sexaxliga, dieselelektriska General Motors linjelokomotiv. Observera den höga axellasten. SD= Special Duty

Den amerikanska dieselmotorutvecklingen fortsatte att påverka valet av dieselmotorer i DSB:s lokomotiv. Under slutet av 1960-talet valde DSB att gå in för en ny generation svenskamerikanska dieselelektriska lokomotiv, benämnt MZ, med axelkonfigurationen Co-Co och sth 143 km/h. Kraftkällan i dessa diesellokomotiv var den kompressormatade E3- motorn. Den första delserien (leverans 1967- 1970) hade en sextoncyindrige motor med effekten 2.426 kW, en **ökning med nästan 70 % jämfört med föregångaren MY**. Den andra och tredje delserien (leverans 1972- 1978) utrustades med en tjugocyindrige E3- motor. Effekten från den senare dieselmotorn var hela 2.867 kW. Samtidigt höjdes sth till 165 km/h.

Det fanns under slutet av 1970- talet inom DSB ett behov av ännu fler linjelokomotiv i MZ- klassen men inom områdena transmission och boggiar hade mycket hänt. Främst det västtyska DE 2500- lokomotivet lockade med sina slitstarka boggiar och mycket goda gångegenskaper. DE 2500-lokomotivet hade provkörts hos såväl DSB som NSB och under 1979 bestämde DSB sig för att beställa en tyngre version i Henschel:s nya DE- serie, benämnt DE 3300 (DSB benämning ME). Den första delserien (av totalt tre) bestod av 16 stycken ME-lokomotiv. Det nya ME-lokomotivet baserade sig på det norska Di 4- lokomotivet, men motorena utrustades inte med lika mjuk upphängning som Di4- lokomotiven, samtidigt som sth höjdes från 140 km/h till 175 km/h. Den högre hastigheten krävde dessutom att man fick spänna in axellagren något styvare i förhållande till boggiramen.

Till att börja med utrustades ME- loket endast med E3- motorn (precis som hos första delserien av MZ- lokomotiven) men det förbereddes för den kraftigare F3- motorn med effekten 2.870 kW. Däremot utrustades boggierna redan från början med 6 stycken asynkronmotorer á 450 kW med en total effekt på 2.700 kW, det vill säga en **högre** effekt än den ursprungliga dieselmotorn. Leverantören av den elektriska utrustningen var BBC (senare ABB). I tabell 4 visas en jämförelse av de danska MZ- och ME- lokomotiven.

Di 4- och ME- lokomotiven sattes in i högst olika typer av trafik. Di4- loket sattes in på fjärrtågslinjen Trondheim- Bodö (73 mil) medan ME-loket sattes in i regional- och lokaltågstrafik på Själland samt i fjärrtågstrafik ner till ön Lolland. Di4-loket körde i genomsnitt 67 mil per dygn medan ME-loket körde uppemot 90 mil per dygn. Vid en provkörning på den danska ön Fyn uppnådde ME-loket hastigheten 188 km/h.

Med den nya regenerativa elbromsen (motorbromsen) kan tåget vid inbromsning mata tillbaka elenergin såväl till bromsotståndet i loket (= mindre slitage) som till personvagnarnas värmeanläggning. Den återmatade energin innebär mindre bränsleförbrukning och för en enkel regionaltågresa Roskilde- Helsingör innebär det en bränslesparning på hela 6,4 liter dieselolja. I detta fall var yttertemperaturen 0°C, värmeeffekten 120 kW och antalet inbromsningar 10 stycken. Banan är förhållandevis horisontell.

			differens	GM
Beteckning	MZ (1)	ME		Serie SD 50
Ägare	DSB	=>		(åtskilliga)
Första leverans	1977	1980		1979
Axelarr	Co-Co	=>		Co-Co
Längd	21.000 mm	=>		21.692 mm
Vikt	123,0 t	115,0 t	-6,6 %	167,0 t
Axellast	20,5 t	19,2 t	-6,6	27,8 t
Sth	165 km/h	175 km/h	+6,1	112 km/h
Motorbeteckning	20-645 E3	16-645 E3B		16-645 F3
Motortillverkare	GM	=>		GM
Slagvolym	211 liter	169 l	-20	169 liter
Dieselmotoreffekt	2.867 kW	2.426 kW	-15,4	2.840 kW
Antal cylindrar	V-20	V-16	-20	V-16

(1)= delserie 3

Tabell 4 Jämförelse av de två sexaxliga, danska diesellokomotiven MZ och ME. Observera att uppgifterna om vikt och leveransår skiljer sig något från övrig text. I högermarginalen är amerikanska Serie SD 50 från samma tidpunkt, med i grunden samma motor (Serie 645) och axelkonfiguration som de danska lokomotiven.
Källor: "Danske lokomotiver og motorvogne", 1985, "Modern trains", Arco publishing, 1985

I sammanhanget bör även det specialbyggda diesellokomotivet DDA40X "Centennial" nämnas. Den amerikanska operatören Union Pacific firade under 1969 sitt 100 års jubileum och beställde i samband med detta en ny generation åttaaxliga, dielelektriska lokomotiv som drevs av *två* stycken kompressormatade V-16 dieselmotorer av typen Serie 645. Lokomotivets vikt var hela 241 ton vilket gjorde det till världens tyngsta diesellokomotiv. Centennial- lokomotiven kunde även multipelköras vid till exempel trafik genom branta bergspass.....

4. De tre ellokomotiven

Under mitten av 1970-talet började den västtyska statsjärnvägen (DB) att planera för en ny generation fyraxliga ellok som efterträdare till E10- lokomotivet. DB behövde en ny generation fyraxliga ellokomotiv för såväl tung gods- som persontrafik för farter uppemot 160 km/h. Effektbehovet bedömdes bli i storleksordningen 5- 6 MW.

Tillsammans med ett konsortium inom den västtyska järnvägsindustrin, där de två grupperna Krupp- Henschel-Krauss Maffei (mekanisk del) och BBC-Siemens-AEG (elektrisk del) var huvudintressenterna, utvecklades fem stycken fyraxliga prototyplokomotiv med beteckningen 120.0. Lokomotivets mekaniska del var tämligen konventionell, även om en rad åtgärder fick vidtas för att reducera vikten (lagerboxar och karossluckor av lättmetall, höghållfast stål etc). Senare visade sig lokomotivet vara lämpat för sth 200 km/h vilket passade bra för DB då Intercity-tågen från och med 1977 började att köra i 200 km/h. 120-lokomotivet visade sig lämpa sig för ännu högre hastigheter och ett av dessa växlades för 280 km/h.



Bild 5 Det västtyska lokomotivet 120.1 i väntan på avgång vid München centralstation. Loket har en vikt på 84 ton och sth 200 km/h. Såväl det danska EA- lokomotivet som det norska E117- lokomotivet har många konstruktionslösningar från 120- lokomotivet. Styckpriset var 33 mkr (prinsnivå 2000).
Foto: författaren, München augusti 1990

Under utprovningsfasen genomgick lokomotiven omfattande testprogram. Det första av fem prototyplokomotiv drog dagligen 2.700 ton tunga godståg och vid ett försök accelererade ett ensamt 120-lokomotiv från stillastående till 200 km/h på 16 sekunder. Under december 1980 genomfördes krävande provkörningar på schweiziska alpbanor. Förutom över de branta lutningarna i vinterklimat kördes lokomotivet igenom den långa, uppemot 20 grader varma, Simplon-tunneln. De stora temperatursvängningarna satte lokets elutrustning på hårda prov (kondensproblem tillsammans med damm och skräp i kylluften etc).

Under maj 1985 provkördes två 120-lokomotiv i ett 2.160 ton tungt godståg på sträckan Boden- Ånge (656 km). I samband med att Siemens firade 100 års jubileum i Sverige under 1993 demonstrationkördes ett vidareutvecklat 120- lokomotiv, benämnt 127. Siemens- loket drog konventionella svenska personvagnar i farter uppemot 200 km/h på linjen Stockholm- Göteborg. Sedan början av 1990-talet bedrivs visserligen luktågstrafik i 200 km/h (X2000) men den svenska dogmen hade dittills varit att denna topphastighet endast var möjlig med lutningsbara vagnkorgar (fram till beställningen av X2000 under 1986 ansågs inte ens luktåg vara möjligt vid svensk höghastighetstrafik).

Det unika med Siemens- lokomotivet 127 var att det visade sig vara fullt möjligt att köra konventionella, svenska personvagnar i samma fart som X2000. Ett citat från en av passagerarna i Siemens- tåget löd: "...samtliga vagnar gick fullt acceptabelt även i 200 km/h" [1]. Under 2001 började provkörningarna med ett Rc-lokomotiv och svenska åttiotalsvagnar i 200 km/h [3]. Det skall dock tilläggas att sedan början av 1980-talet rullar modifierade, svenskkonstruerade Rc- lokomotiv för 200 km/h i USA. Det är lätt att inse vilken kostnadsbesparing en snabb introduktion av 120- lokomotivet hade varit i Sverige, istället för det dyra och tidsödande X2000- konceptet.

Det första av fem 120.0 prototyplokomotiv levererades under maj 1979 men det dröjde till 1987 innan serieleveranserna av 120.1 lokomotiv startade. Varje lok (totalt 60 stycken i delserie 120.1) kostade cirka 33 miljoner kronor (prinsnivå 2000). Till detta tillkom dessutom en utvecklingskostnad på cirka 1,3 miljarder kronor. Under utprovningen av 120.0 ändrade industrigruppen lokomotivet på en mängd punkter, allt från strömvagtagare till bromsklotsar. 120.0- lokomotivet provkördes även i Schweiz, Österrike och Sverige. Det fanns planer under 1980-talet på att beställa uppemot 2 000 stycken 120-lokomotiv men planerna skrinlades då DB beställde en ny generation luktåg, benämnt ICE, för hastigheter uppemot 300 km/h. Å andra sidan beställdes vidareutvecklade 120-lokomotiv av utlandet. Spanien, Portugal och Grekland är några av länderna. Spanien och Portugal beställde en vidareutvecklad variant (spansk littera "S252") med högre effekt och mjuka boggiar.

I Norge planerades under 1970-talet för en ny generation fjärrtåg (se även rapporten "Nästa generation skandinaviska snabbtågssystem" på denna hemsida). De nya tågen skulle kunna köra snabbare på de gamla, kurvrika spåren och flera lösningar diskuterades. NSB bestämde sig under slutet av 1970-talet för att satsa på en ny generation loktåg där vagnarna endast förbereddes för aktiv korglutning. NSB:s ingenjörer valde en ny generation ellokomotiv från Henschel (Kassel). Som boggiar valdes den tyska Flexifloat- boggin och som drivsystem valdes ett asynkromotorsystem från BBC. NSB:s val var både djärvt och framtidsorienterat.

Ett leveranspaket bestående av fem tågsätt beställdes under 1979 från BBC:s norska enhet NEBB. Varje El 17- lokomotiv kostade motsvarande 28 miljoner kronor i 2000 års prisnivå. Totalt 12 stycken El 17- lokomotiv beställdes, dels i en serie för leverans 1981 (6 st) och dels i en för leverans 1987 (ytterligare 6 st). Lokomotivet var fyraxligt med en vikt av endast 64 ton vilket motsvarade axellasten 16,0 ton. Boggierna i detta lokomotiv var av typen Flexifloat, där axelboxarna fästs in med stor elasticitet. Genom elasticiteten kunde hjulaxlarna ställa in sig radiellt i snäva kurvor vilket minskade spårkrafterna och slitaget. Liksom hos ME- lokomotiven utfördes boggiförankringen i längsled med tryckdragstång, dock med infästning under förarhytten istället för under lokets tyngdpunkt (transformatorn var i vägen). Lokomotivet provkördes i Västtyskland under sommaren 1981 och den 5:e oktober samma år anlände det första El17- lokomotivet till Norge.

differens

Littera	120.0	El-17	
Operatör	DB	NSB	
Axellast	21,0 t	16,0 t	-24 %
Vikt hjulsats	1,86 t/axel	1,53 t/axel	-18 %
Oavfjädrad massa	2,50 t/axel	2,02 t/axel	-19 %
Primäravfjädrad massa	5,30 t/axel	4,33 t/axel	-18 %
Horisontal sek fjädring	±2,0 cm	±5,0 cm	+150 %
Överkant sek fjädring	~95 cm rök	~160 cm rök	+68 %

Tabell 5. Jämförelse boggiar för "syskonlokomotiven" 120 (Västtyskland) och El-17 (Norge). Som framgår av tabellen har en rad åtgärder vidtagits hos El-17 för att reducera spårkrafterna. Den 38 ton tunga lorkorgen hos El-17, som endast svävar på spiralfjädrar, tilläts pendla hela ±5 cm i sidled. Motsvarande pendling hos personvagnarna i samma norska tågsätt (tyska Wegmann- boggiar, littera x7) är hela 8 cm vid snäva kurvor

Tidigare nämndes att det nya El17-lokomotivet har mycket goda gångegenskaper. Genom att hjulaxelns infästningar är relativt mjuka tenderar de att ställa in sig radiellt i kurvorna, så kallade "mjuka boggiar". Den mjukare infästningen av hjulaxlarna riskerade dock att orsaka instabilitet. Utvecklingsarbetet krävde därför omfattande beräkningar samt provkörningar på det tyska järnvägsnätet för att kontrollera gångegenskaperna. Dessutom hade den oavfjädrade massan reducerats till endast 2,02 ton per hjulaxel och överkanten av sekundärfjädringen (spiralfjäder) låg cirka 1,60 meter ovan rälsöverkant. Det vertikala fjäderspelet var 3 cm och i sidled hela ±5 cm. Tack vare de låga spårkrafterna tilläts El17- lokomotivet att köra snabbare i kurvorna. Vid maximal rälsförhöjning (150 mm) var den teoretiska skillnaden i kurvhastighet mellan ett X2000-tåg och NSB:s tåg teoretiskt endast 9 %! Redan under 1983 konstaterade en delegation från SJ efter ett studiebesök i Norge att "NSB har visat att det är möjligt att öka kurvhastigheterna väsentligt..." och att "**Det är inte nödvändigt att använda fordon med korglutningssystem...**" [2]



Bild 6 Det elektriska lokomotivet EI17 vid Oslo centralstation. Notera den kraftiga snöplogen och det kilformade frontpartiet, bägge lösningarna för att klara extrema vinterförhållanden. Loktypen är världens första högeffektslokomotiv med asynkronmotorer för kommersiell trafik. En stor del av den elektriska utrustningen baserar sig på det västtyska lokomotivet 120 (se bild 5). Styckepriset var 28 mkr (prisnivå 2000).
Foto: författaren, Oslo februari 1988

Under våren 1979 beslöt det danska parlamentet att en stor del av järnvägsnätet skulle elektrifieras. Det naturliga hade varit att DSB valt samma kontaktledningsspänning som sina grannländer, det vill säga 15 kV 16 2/3 Hz. Framgångsrika försök under 1950-talet i Västtyskland och Frankrike visade dock att det med kontaktledningsspänningen 25 kV 50 Hz fanns uppenbara ekonomiska fördelar. Några av fördelarna var mindre resitativa förluster samt inget behov av dyra omformarstationer. Fler länder som använder 25 kV och de nationella stommätens frekvens i sina kontaktledningsnät är bland annat Sovjet, USA, England och Japan.

En av de första danska linjer som elektrifierades (exklusive Köpenhamns lokaltågsnät) var kustbanan Helsingör-Köpenhamn (45 km). Tidigare hade denna linje endast trafikerats av gamla, sexaxliga diesellokomotiv men under början av 1980-talet sattes moderna, sexaxliga diesellok med asynkronmotorer (typ ME) in i trafiken.

Under 1981 gick en förfrågan ut till ett antal tillverkare för en ny serie elektriska linjelokomotiv. Under april 1982 fick BBC en första order för utveckling och tillverkning av 2 stycken fyraxliga lokomotiv med beteckningen "EA". Strax efteråt erhöll BBC en order på ytterligare 8 stycken EA-lokomotiv. Den elektriska delen utvecklades och tillverkades av BBC i Mannheim medan den mekaniska delen utvecklades av Henschel i Kassel. Endast 2 av totalt 10 stycken EA-lokomotiv slutmonterades i Kassel, resterande slutmonterades av den danska spårfordonstillverkaren Scandia i staden Randers (Jylland). Scandia svarade även för tillverkningen av den mekaniska delen (f o m individ 3003). Under september 1984 premiärvisades EA-lokomotivet i Köpenhamn, under mars 1986 sattes det i reguljär trafik på kuststräckan mellan Helsingör och Köpenhamn. Senare utökades leveranserna till totalt 22 stycken EA-lokomotiv. EA-lokomotiven var relativt dyra med ett styckpris på 42 mkr (2000 prisnivå). Å andra sidan ingick mycket tekniköverföring till dansk industri i avtalet.



Bild 7 Det danska ellokomotivet EA vid Padborg (nära Flensburg) på södra Jylland. Denna individ har en mekanisk del som är tillverkad av danska Scandia i Randers (Jylland). Notera de långtgående likheterna i formgivningen med ME- lokomotivet (se bild 1). Lokomotivet har en vikt på 80 ton och sth 175 km/h. Styckpriset var cirka 42 mkr (2000 års prisnivå).
Foto: Henrik Clausen, 2003, Danmark

EA-lokomotivet har en kontinuerlig effekt av 4.000 kW och en vikt på 80 ton, det vill säga det är ganska likt ett svenskt Rc- lok. Till skillnad mot Rc- loken kan de dock återmata energi till nätet vid inbromsning vilket gör EA-loken miljövänligare. De är emellertid begränsade till trafik inom Danmark på grund av kontaktledningsspänningen. Under provkörningarna hos tillverkaren i Mannheim (Tyskland) fick EA-loket bogseras till Luxemburg för provkörningar med kontaktledningsspänningen 25 kV. Liksom ME- lokomotivet utrustades EA- lokomotivet med spårvänliga boggiar av typen Flexifloat.

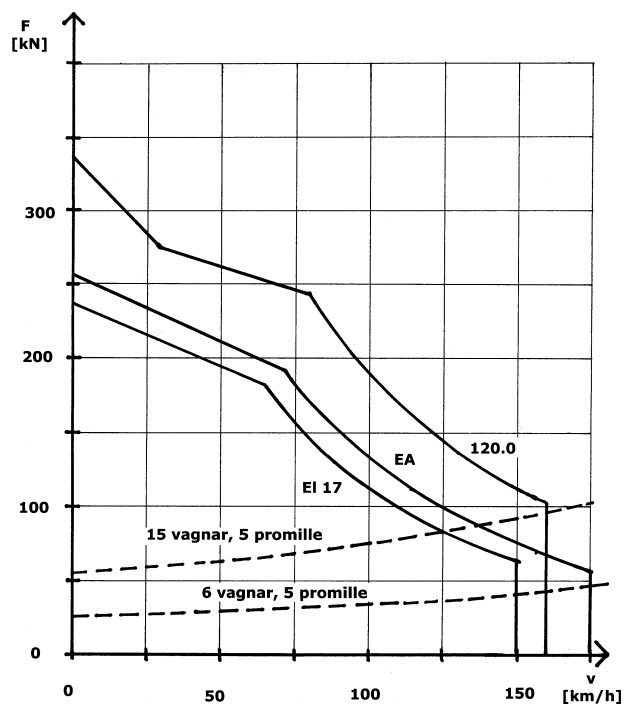


Bild 8 De tre elektriska lokomotivens dragkraft- hastighetskurvor samt gångmotståndet för några olika typer av persontåg. Där den streckade linjen skär den heldragna anger tågets maximala hastighet i det specifika belastningsfallet. Varje personvagn antas ha en bruttovikt på 50 ton.
Källa: författaren

Av diagrammet ovan framgår bland annat att endast 120-lokomotivet klarar att hålla 160 km/h med 15 personvagnar och motlut på 5 promille. EA-lokomotivet är begränsat till cirka 140 km/h och El 17-lokomotivet klarar endast cirka 125 km/h. Däremot klarar El 17-lokomotivet, det i särklass lättaste av de tre, att hålla full fart (150 km/h) med 6 personvagnar i motlut.

När det gäller godståg (ej inritat i diagrammet) är tågvikterna betydligt större och topphastigheterna betydligt lägre. För EA-lokomotivet var ett av kraven att de skulle kunna "sätta ett godståg i rörelse" med tågvikten 2.000 ton. 120-lokomotivet, som har en betydligt högre startdragkraft (340 kN) än de andra lokomotiven (~250 kN), drog i reguljär trafik godståg med tågvikten 2.700 ton (vid multipelkopplade lok dock hela 5.400 ton).

5. De tre lokomotivens elektriska drivutrustning

Ingenjörerna inom såväl DSB som NSB följde intresserade under 1970-talet utvecklingen av det västtyska 120.0-lokomotivet. För första gången hade ingenjörer lyckats att för kommersiell drift använda den mycket fördelaktiga asynkronmotorn, dessutom i lokomotiv som klarade att dra såväl tunga godståg uppemot 2.700 ton som snabba persontåg i farter långt över 200 km/h. De ekonomiska fördelarna för järnvägsförvaltningarna var uppenbara. Den centrala delen i den nya tekniken var strömriktarna från tillverkaren BBC (Mannheim) med tillhörande komplicerade reglerutrustning. Samtidigt skiljde sig såväl DSB:s som NSB:s krav på lokomotivet. Då NSB:s tåg skulle kunna köra snabbare genom extremt snäva kurvor krävdes en reducerad axellast. NSB:s lokomotiv skulle dessutom klara trafik på högplatåer på höjder över 1.000 meter, med kraftiga snöfall och låga temperaturer. Speciellt Bergensbanan och Dovrebanan (Oslo-Trondheim) ställer extra höga krav på tågen. Senare sattes El-17-lokomotiven in på den branta Flåmsbanan, en matarbanan till Bergensbanan (se Figur 8B, där Flåmsbanan börjar vid station Myrdal) med lutningar uppemot 55 promille.

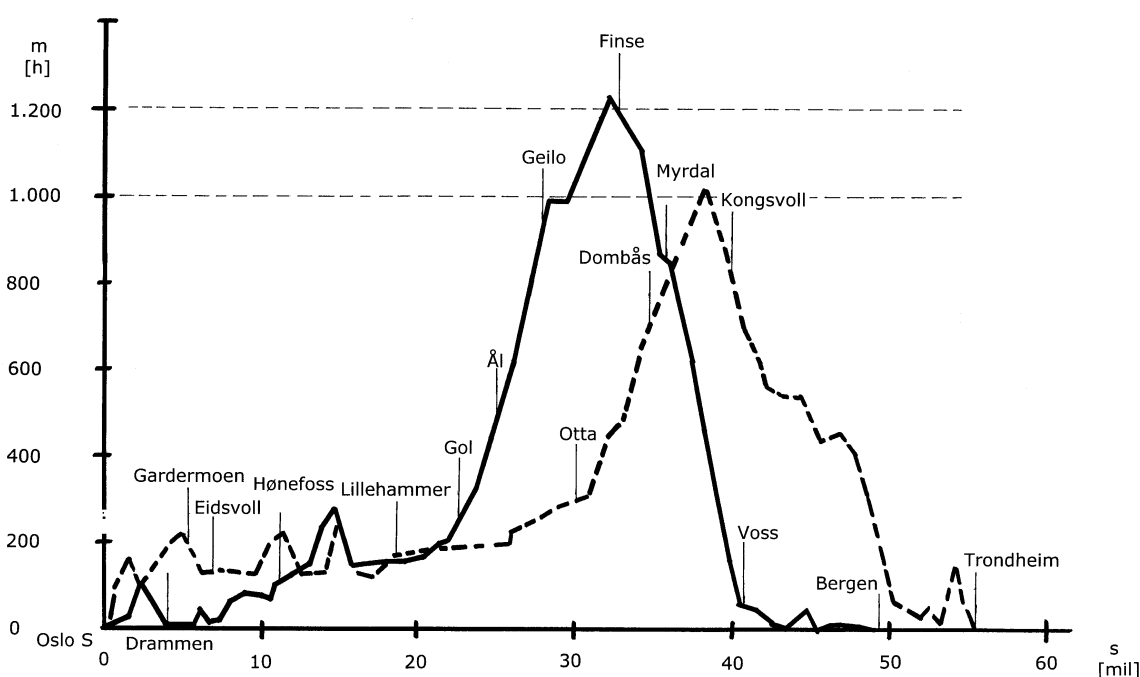


Bild 8B. Banprofilen för de två huvudlinjerna Oslo-Bergen och Oslo-Trondheim. I bägge fallen passerar banorna 1.000 meternivån, vilket i förhållande till ändstationernas höjdlägen (= havsytan) motsvarar betydligt större höjdskillnader än till exempel den schweiziska Gotthard-banan. Speciellt delsträckan Gol-Geilo (stiger 587 meter på en sträcka av 5 mil) ställer mycket hårda krav på dragfordonen då stigningarna är både långa och kraftiga samtidigt som kurvorna är snäva.
Källa: författaren, med höjddata från boken "Norwegian railways", 1996

DSB:s lokomotiv påminde mer om 120- lokomotivet vad gällde kontinuerlig effekt, sth och vikt, men formgivningen av lokkorgen skiljde sig markant. Då Danmark har ett förhållandevis slätt landskap är kraftiga motlut ovanliga, även om ramperna i den nya Stora bält- förbindelsen sedan invigningen 1997 är en utmaning.

I samtliga tre fall rörde det sig om en tämligen konventionell utformning med följande likheter, till största delen baserat på 120- lokomotivet:

- * fyraxligt boggilokomotiv (BoBo)
- * kortslutna asynkronmotorer med trefasdrift från BBC
- * elutrustning placerad längs maskinrummets (enda) breda mittgång
- * oljekylda strömriktare från BBC (direkt baserat på 120.0- lokomotivet)
- * förmågan att dra såväl gods- som persontåg (lägre kapitalkostnader per tåg mil)
- * sth minst 150 km/h
- * regenerativ elbroms (återmatning till kraftnätet)
- * oljekyld elutrustning (ingen smuts och fukt via kyl Luft inne i elutrustningen)
- * transformator under golv och mellan boggier (frigör utrymme inne i maskinrum, lägre tyngdpunkt)

6. Slutsats

Utvecklingen från det att det första DE 2500- lokomotivet provkördes under sommaren 1970 till dess att det första 120- lokomotivet provkördes i hastigheter långt över 200 km/h ägde rum under bara ett decennium. Utgångspunkten år 1970 var ett 84 ton tungt diesellok med effekten 1.500 kW och sth 140 km/h. Nio år senare lanserades 120.0- lokomotivet med exakt samma vikt men med effekten 5.600 kW och dubbelt så hög topphastighet. Det finns flera skillnader mellan lokomotiven men gemensamt är att de konstruerades för att kunna dra såväl tunga godståg som snabba persontåg, vilket möjliggjordes med den nya trefasdriften.

Den nya transmissionsteknologin med asynkronmotorer visade sig ha uppenbara fördelar såsom mindre underhållsbehov, möjlighet att återmata energin till kontaktledningsnätet samt mindre risk för överhettning i motorerna. Henschel:s Flexifloat- boggier med radiellt inställbara hjul visade sig orsaka låga spårkrafter vilket minskar slitaget. Hos NSB tillät man redan under början av 1980-talet högre kurv hastigheter tack vare de låga spårkrafterna, vilket resulterade i högre medelhastigheter.

Även den amerikanska järnvägsindustrin har följt samma utvecklingstrend vad gäller boggier och elmotorer. Under 1992 lanserade General Motors diesellokomotivet Serie 70 och under 1995 lanserade samma tillverkare Serie 90. Bägge lokomotiven är sexaxliga och utrustade med asynkronmotorer och mjuka boggier. Dessutom har General Motors satsat mycket på miljövänlig teknik och bättre förarmiljö hos de nya lokomotiven. Bägge loktypernas dieselmotorer har 16 cylindrar (V-16) och är utrustade med kompressormatning. Serie 70- lokomotiven drivs av en tvåtakts dieselmotor (typ 710) med effekten 2,6 MW som lanserades redan 1984, en tvåtaktsdiesel som certifierats för de stränga Tier-2-kraven från de amerikanska miljömyndigheterna. Serie 90- lokomotiven drivs av en ny generation fyrtaktsdieslar (typ H) med effekten 4,4 MW, en ökning med hela 67 % jämfört med Serie 70- lokomotiven. Den nya H-motorn från GM är även konstruerad för att uppfylla Tier-2 kraven. En ny loktyp, benämnd Serie 100, lär dessutom utvecklas med en dieselmotoreffekt på hela 5,15 MW (dock obekräftade uppgifter).

De totala leveranserna av asynkronlokomotiv med mjuka boggier till Skandinavien under tiden kring 1980 uppgick totalt till 76 stycken lokomotiv, fördelat enligt följande:

Littera	Operatör	Beställning	Antal	Leverans	axelarr	sth	Effekt	löp nr
Di 4	NSB	1978, nov	5	1981	Co-Co	140 km/h	1.950 kW	4.651...655
El-17	NSB	1979	12	1981- 1987	Bo-Bo	150	3.000	17.2221...2232
ME 1500	DSB	1979	37	1981- 1985	Co-Co	175	1.950	1501...1537
EA 3000	DSB	1982, apr	22	1984- 1992	Bo-Bo	175	4.000	3001...3022
Summa			76 st					

I såväl Norge som Danmark intresserade man sig mycket tidigt för den nya tekniken med mjuka boggier som asynkronmotorer. Senare köpte DSB och NSB in såväl lok som motorvagnar med mjuka boggier och drivsystem med asynkronmotorer. Trafikuppgifterna har varit delvis olika liksom miljöerna men gemensamt är att den nya tekniken med asynkronmotorer och spårvänliga boggier har kommit för att stanna.

Tomas Larsson

Översikt data ellokomotiv

Allmänt

Beteckning	El-17	EA 3000	120.0
Typ av fordon	ellok	=>	=>
Pris (prisnivå 2000)	28 mkr	43 mkr	33 mkr
Specifikt pris	438 kr/kg	538 kr/kg	393 kr/kg
Operatör	NSB	DSB	DB
Första leveransår	1981	1984	1979
Tillverkare mek del	Henschel Strömmens	=> Scandia	=> Krupp Krauss Maffei
Tillverkare el del	BBC NEBB	=> Siemens	=> => AEG
Axelarr	Bo-Bo	=>	=>
Vikt	64,0 t	80,0 t	84,0 t
Stax	16,0 t	20,0 t	21,0 t
Max startdragkraft	240 kN	260 kN	340 kN
Specifik effekt	46,9 kW/t	50,0 kW/t	52,4 kW/t
Sth	150 km/h	175 km/h	160 (280) km/h
Antal beställda	12 st	22 st	5 st (prototyp)

Kaross

Längd över stötytor	16.300 mm	19.380 mm	19.200 mm
Boggiavstånd	8.560 mm	9.940 mm	10.200 mm
Höjd över fälld strömvtagare	4.650 mm	4.590 mm	4.375 mm
Korgbredd	3.040 mm	3.150 mm	3.000 mm
Utvändig yta	slät plåt	sickad plåt	slät plåt
Utvändig färg	rödbrun	svart röd	beige vinröd

Boggier

Spårvidd	1.435 mm	=>	=>
Axelavstånd	2.600 mm	2.800 mm	=>
Hjuldiameter- oslitet	1.100 mm	1.250 mm	=>
Primärfjädring	spiral fjäder	=>	=>
Sekundärfjädring	spiral fjäder	=>	=>
Broms	blockbroms reostatisk regenerativ	=> --- =>	=> reostatisk =>
Boggivikt	12,85 t	15,55 t	15,96 t
Minsta kurvradie	100 m	80 m	100 m

Elutrustning

Allmänt

Kontaktledningsspänning, nominell	15 kV	25 kV	15 kV
Kontaktledningsfrekvens, nominell	16 2/3 Hz	50 Hz	16 2/3 Hz
Max kontinuerlig effekt, räl	3.000 kW	4.000 kW	4.400 kW
Kontinuerlig effekt/ vikt	46,9 kW/t	50,0 kW/t	52,4 kW/t
Max regenerativ bromseffekt, räl	2.350 kW	3.700 kW	3.300 kW
Max reostatisk bromseffekt, räl	2.350 kW	-----	5.600 kW
Max tågvärmeeffekt	500 kW	720 kW	900 kW
Batterispänning	110 V	=>	=>

Transformator

Beteckning	TLFB 4236	LOT 5500	TLFB 630
Max effekt	4.150 kVA	5.520 kVA	6.200 kVA (1)
Antal sekundärlindningar	5 st	7 st	7 st
Vikt	6,5 t	8,5 t	11,2 t
Kylning	olja	olja	olja
Max kyloljeflöde	11,1 l/s	10,0 l/s	26,7 l/s
Specifik effekt	638 kVA/t	649 kVA/t	554 kVA/t
Utgång 1	1.571 V	1.316 V	1.513 V
Utgång 2	1.571 V	1.316 V	1.513 V
Utgång 3	883 V	1.316 V	1.513 V
Utgång 4	221 V	1.316 V	1.513 V
Utgång 5 (=tågvärme)	1.000 V	1.513 V	1.000 V
Utgång 6	---	214 V	201 V
Utgång 7	---	987 V	885 V

(1)= vid lufttemperatur 20°C och kyloljetemperatur 85°C

Strömriktare

Strömriktarbeteckning	13 SG 04	G 2800 D 2200/710 M-1	13 SG 01 a
Antal motorer att driva	2 st	=>	1 st
Mellankretsspänning	2.800 V DC	=>	=>
Max utspänning (3-fas)	2.200 V AC	=>	=>
Utfrekvens (3-fas)	0- 125 Hz	0- 133 Hz	0- 200 Hz
Max utström (3-fas)	600 A	710 A	600 A
Max uteffekt	2.280 kVA	2.700 kVA	1.900 kVA
Vikt	1,96 t	1,60 t	1,95 t
Max kyloljeflöde	6,25 l/s	=>	6,0 l/s

Strömriktare hjälpkraft

Antal	3 st	=>	=>
Inspänning- nominell	885 V 16 2/3 Hz	985 V 50 Hz	885 V 16 2/3 Hz
Utspänning	0...440 V, 0...63 Hz	0...440 V, 0...60 Hz	=>

Drivmotor

Beteckning	BQg 3855	BQg 4546	BQg 4843
Kontinuerlig effekt	750 kW	1.020 kW	1.400 kW
Max spänning	2.200 V	=>	=>
Vikt	1,66 t	1,95 t	2,38 t
Max vridmoment	7,2 kNm	8,2 kNm	10,5 kNm
Max varvtal	3.600 rpm	3.823 rpm	3.600 rpm (1)
Kylluftflöde	1.200 l/s	1.400 l/s	1.500 l/s

Oljekylare transformator

Max avgiven värmeeffekt	100 kW	90 kW	120 kW
Antal	1 st	=>	=>
Max kyloljeflöde	6,25 l/s	10,0 l/s	13,3 l/s
Max luftflöde	8.900 l/s	10.100 l/s	10.000 l/s
Tryckfall, luft	1.080 Pa	930 Pa	1.300 Pa
Max effekt fläktmotor	14,5 kW	10,5 kW	22,0 kW
Max matningsspänning fläktmotor	440 V AC	=>	=>
Vikt	515 kg	650 kg	710 kg

Oljekylare strömriktare

Max avgiven värmeeffekt	90 kW	130 kW	155 kW
Antal	1 st	=>	=>
Max kyloljeflöde	11,1 l/s	12,5 l/s	12,0 l/s
Max luftflöde	8.900 l/s	10.100 l/s	10.000 l/s
Tryckfall, luft	1.080 Pa	930 Pa	1.300 Pa
Max effekt fläktmotor	14,5 kW	10,5 kW	22,0 kW
Max matningsspänning fläktmotor	440 V AC	=>	=>
Vikt	590 kg	650 kg	710 kg

Källa: Produktbroschyurer från BBC, Siemens och Henschel

Översikt data dieselelektriska lokomotiv

Allmänt

Beteckning	202 (DE 2500)	Di 4	ME 1500
Typ av fordon	dieselelektriskt lok	=>	=>
Pris (prisnivå 2000)	(demo)	(saknas)	21 mkr
Operatör	(Demo)	NSB	DSB
Första leveransår	1970	1981	=>
Tillverkare mek del	Henschel	=>	=>
Tillverkare el del	BBC	=>	=>
		NEBB	
		GM	=>
Axelarr	Co-Co	=>	=>
Vikt	84,0 t	111 t	116 t
Stax	14,0 t	18,5 t	19,3 t
Max startdragkraft	272 kN	360 kN	=>
Specifik effekt	17,9 kW/t	17,6 kW/t	16,8 kW/t
Sth	140 km/h	=>	175 k m/h

Anm

uppgifter varierar m a p bränsle
uppgifter varierar m a p bränsle

Kaross

Längd över stötytor	18.070 mm	20.800 mm	21.000 mm
Boggavstånd	9.600 mm	11.930 mm	=>
Höjd	4.280 mm	4.340 mm	4.350 mm
Korgbredd	3.070 mm	3.176 mm	3.150 mm
Utvändig yta	slät plåt	sickad plåt	slät plåt
Utvändig färg	benvit	rödbrun	svart
		röd	

Boggier

Spårvidd	1.435 mm	=>	=>
Axelavstånd	2.000 + 2.000 mm	1.850 + 2.000 mm	=>
Hjuldiameter- oslitet	1.100 mm	=>	=>
Primärfjädring	spiral fjäder	=>	=>
Sekundärfjädring	spiral fjäder	=>	=>
Broms	blockbroms	=>	=>
	elektrisk	=>	=>
Boggivikt	14,9 t/st	20,6 t/st	19,7 t/st
Minsta kurvradie	90 m	100 m	=>

Drivutrustning

Max kontinuerlig effekt, räl	1.500 kW	1.950 kW	=>
Max bromseffekt, räl	1.800 kW	2.450 kW	2.550 kW
Tågvarmepänning	1.000 V	=>	1.500 V
Tågvarmefrekvens	16 2/3 Hz	=>	50 Hz
Max tågvarmeeffekt	400 kVA	=>	500 kVA
Bränsletankvolym	(uppgift saknas)	5.200 l	4.000 l

regenerativ alt reostatisk

Dieselmotor

Beteckning	12 V 2423 Aa	645 E3B	=>
Typ	(uppgift saknas)	tvåtakts dieselmotor	=>
Tillverkare	MAN	GM	=>
Antal cylindrar	V-12	V-16	=>
Kompressormatning	ja	=>	=>
Slagvolym	(uppgift saknas)	169 l	=>
Max effekt,motoraxel	1.840 kW	2.450 kW	=>
Kylluftflöde vattenkylare	45.000 l/s	55.000 l/s	=>

Generator

Beteckning	(uppgift saknas)	AR 7	=>
Typ	synkron	=>	=>
Tillverkare	BBC	GM	=>
Utfrekvens (3-fas)	40- 100 Hz	26- 75 Hz	=>
Utspänning	(1.000 V)	600- 1.400 V AC	=>

kan ej användas som startmotor

Strömriktare

Antal	4 st	6 st	=>
Mellankretsspänning	1.200 (1.300) V	1.400 V DC	=>
Max utspänning (3-fas)	(uppgift saknas)	1.250 V AC	=>
Utfrekvens (3-fas)	0-125 Hz	=>	0-143 Hz
Max uteffekt	700 kVA/st	750 kVA/st	=>

Drivmotor

Beteckning	QD 335 N4	=>	=>
Tillverkare	BBC	NEBB	BBC
Typ	asynkron	=>	=>
Kontinuerlig effekt	375 kW	450 kW	=>
Vikt	1,8 t	=>	=>
Kylluftflöde	1.200 l/s	1.617 l/s	=>
Antal poler	4 st	=>	=>

Källa: Produktbroschyrer från BBC och Henschel

Förkortningar

ABB = Asea Brown Boveri (f d BBC)
 AC = Alternating current (växelström)
 AEG = Allmänna Elektriska Bolaget
 BBC = Brown Boveri & Cie
 DB = Deutsche Bundesbahn (tyska statsjärnvägen)
 DC = Direct current (= likström)
 DSB = (danska statsjärnvägen)
 GTO = Gate Turn Off
 ICE = Intercity Expresss
 IGBT = Insulated Gate Bipolar Transistor
 kN = kiloNewton
 kV = kiloVolt = 1.000 volt
 kVA = kiloVolt ampere
 kW = kiloWatt = 1.000 W
 kW/t = kiloWatt per ton
 l/s = liter per sekund
 NSB = (norska statsjärnvägen)
 PWM = (pulsbredd modulering)
 rpm = (varv per minut)
 SBB = (schweiziska statsjärnvägen)
 Sth = Största Tillåtna Hastighet
 t = ton
 V = Volt

Lästips

www.gmemd.com (hemsida General Motors diesellokomotiv)

“Asea Brown Boveri three phase AC drive technology for railway traction”, ABB

“Speed control of 3-phase induction motor using PIC18 microcontrollers”, Microchip, 2002
(se www.microchip.com, Application note AN 843)

www.pwr.com (hemsida Powerex (Pennsylvania), halvledare för högeffektsapplikationer)

“Elektrische Leistungsübertragung”, Eisenbahntechnische Rundschau, november 1971

Källförteckning

[1]= ”Eurosprinter i Sverige”, TÅG, nr 3/1993

[2]= ”NSB:s nya expresståg för högre hastigheter”, SJ 31 oktober 1983

[3]= ”Med 200 km/h över Västgötaslätten”, TÅG, 10/2001

Produktinformation EI-17, Strømmens Verksted (Norge)

”The electrical equipment of the EA 3000 locomotive for the DSB”, Elektrische Bahnen, nr 8/ 1986

“Entwicklung und Lieferung von Lokomotiven mit Drehstrom- Leistungsübertragung“,
Thyssen Technische Berichte, nr 2/ 1985

“Verkehr und Technik”, häfte 4, 1987

„Die elektrische Ausrüstung der Drehstromlokomotive BR 120 der DB“, Elektrische Bahnen, häfte 8/ 1982

Kronologi asynkronlok med mjuka boggier (Danmark-Norge-USA-Västtyskland)

1965	* Henschel och BBC (senare ABB) kommer överens om att utveckla en ny generation universallokomotiv * General Motors lanserar dieselloket Serie 40 med 645- motorn (10,56 liter slagvolym per cylinder)
1967	Start leverans av det sexaxliga diesellokomotivet MZ till den danska statsjärnvägen (DSB)
1969	General Motors börjar att leverera det åttaaxliga diesellokomotivet DDA40X "Centennial" till operatören Union Pacific. Lokomotivet drivs av två stycken kompressormatade V-16 dieselmotorer Serie 645 och loket väger 241 ton.
1970, jun	<i>Det västtyska företaget Rheinstahl Transporttechnik (senare Henschel) och BBC presenterar en ny generation dieselelektriska lok, benämnt DE 2500</i>
1971	Det västtyska loket DE 2500 ("Vita jätten") presenteras på Hannover- mässan
1973	* Loket DE 2500 ("Röda oxen" och "Blå bocken") levereras * "Vita jätten" provkörs under 15 kV kontaktledning i Västtyskland
1975	Det första, sexaxliga diesellokomotivet (A 22 T) med Flexifloat- boggier levereras av Henschel till den egyptiska statsjärnvägen (ENR). <i>Totalt 232 stycken lok beställs av Egypten.</i>
1976	* 6 stycken diesellokomotiv med beteckningen Am 6/6 levereras till den schweiziska järnvägsförvaltningen (SBB) * Den västtyska statsjärnvägen (DB) anger kraven för en ny generation elektriska asynkronlok
1977	* Provkörning av dieselloket DE 2500 i Norge (individ 202 004-8) * DB beställer 5 stycken elektriska 120.0 lok
1978	* <i>Henschel erhåller en order från NSB på 5 stycken diesellok av typen Di 4</i>
1979	* <i>Den norska statsjärnvägen (NSB) beställer EI-17 lok</i> * <i>DSB beställer 5 stycken diesellok av typen ME, senare utökas ordern till totalt 37 stycken ME-lok</i> * <i>General Motors lanserar diesellokomotivet Serie 50 med den vidareutvecklade Serie 645-F3 motorn</i>
1979, maj	<i>Första leveranserna av loket 120.0 till DB</i>
1980	Dieselloket Di 4 till NSB tillverkas
1980, aug	Loket 120.0 uppnår 231 km/h
1980, sep	Loket 120.0 överlämnas officiellt till den västtyska statsjärnvägen (DB)
1981	* Det första ME- loket till DSB tillverkas * Den irakiska statsjärnvägen (IRR) beställer 82 stycken sexaxliga diesellok av Henschel, littera DEM 2500
1981, 5 okt	<i>Det första EI-17 loket anländer till Norge</i>
1982	Höghastighetsloket UmAn (f d DE 2500 individ "Röda oxen") presenteras, sth 250 km/h
1982, apr	<i>DSB beställer 2 stycken elektriska EA- lok från västtyska BBC</i>
1983, mar	DSB beställer ytterligare 8 st EA- lok av BBC, totalt 10 st
1983	* Representanter för SJ provåker norska snabbtåg dragna av EI-17 * Tillverkningen av det 50 000:e loket som drivs av General Motors utrustning
1984	* Den pakistanska statsjärnvägen (PR) beställer 30 stycken sexaxliga diesellok med Flexifloat boggier, littera HGMU 30 * General Motors lanserar den nya dieselmotorn Serie 710 (11,63 liter slagvolym per cylinder)
1984, sep	<i>Det danska elloket EA (individ 3001) överlämnas till DSB</i>
1984 okt	<i>Loket EI 17 provkörs i Sverige (individ 17.2221)</i>
1984, nov	DB beställer 60 stycken 120.1 lok för cirka 2 mrd kr (prisnivå 2000)
1985	Det sista ME- loket till DSB levereras
1985, maj	<i>Loken 120.002 och 120.005 från DB provkörs i Sverige</i>
1985, aug	Loket 120 001 uppnår 280 km/h
1985, sep	Start leverans av det danska lokomotivet EA (individerna 3003...3010)
1986, mars	* Slut leveranser EA- lok (3003...3010) * Banan Helsingör- Köpenhamn sätts under spänning och lokomotivet EA sätts i trafik
1987	Slutet på leveranser av EI-17 till NSB
1987, jan	Det första 120.1- loket levereras till DB
1987 aug	<i>Loket EI-17 provkörs i Sverige (individ 17.2226)</i>
1989 apr	Loket 120.0 omnumreras till 752
1992	* Loket 752.002 byggs om till vattenkylning av strömriktare * Det sista EA- lokomotivet (individ 3022) levereras till DSB * GM lanserar dieselloket Serie 60, littera SD60MAC, med asynkronmotorer
1993	<i>Den amerikanska operatören Burlington Northern beställer 350 stycken diesellokomotiv av typen SD70MAC från General Motors med asynkronmotorer och mjuka boggier. Styckpriset var cirka 23 mkr (prisnivå 2000)</i>
1993 okt	Det från 120-loket vidareutvecklade loket 127 provkörs på sträckan Stockholm- Göteborg i 200 km/h
1993, 22 okt	Loket 127 kör vidare till Oslo. Loket drar bland annat fjärrtåg på sträckorna Oslo- Bergen, Oslo- Kristiansand samt Oslo- Trondheim
1993, 27 nov	Loket 127 lämnar Norge
1999	Operatören Union Pacific beställer 1 000 stycken diesellok av typen SD70M från General Motors (jämför 1993 ovan)