

Sporkasseundersøgelser af danske jernbaner

John K. Frederiksen

Rambøll Danmark, jrf@ramboll.dk

Bent Frederiksen, Lars Lund & Saeed Enkeshafi

Banedanmark, befr@bane.dk; llun@bane.dk & sesa@bane.dk

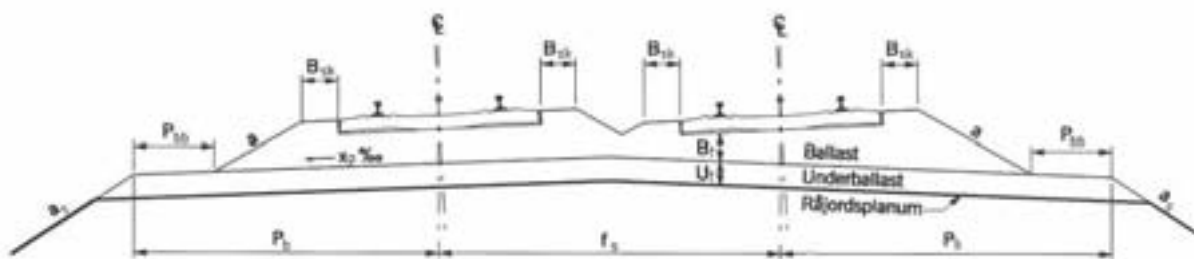
Martin Glendrup

Arkil a/s, Danmark, mgl@arkil.dk

Sammenfatning: Før en fornyelse af et jernbanespor kan sættes i gang, skal der gennemføres en undersøgelse, der kan vise, om det eksisterende ballast- og underballastlag er tilstrækkeligt tykt og rent til at kunne virke som et stabilt underlag for det nye spor. Men det er ikke uproblematisk at udføresådanne undersøgelser med tilstrækkelig præcision. Det kræver en betydelig energi at føre boregrej igennem de specielle "jordlag", og risikoen for at lagserien bliver forstyrret under nedbringningen af boret er betydelig. Udviklingen i udformningen af det boreudstyr, som anvendes ved de danske jernbaner, beskrives i artiklen. Det ville give store fordele hvis boreundersøgelserne helt eller delvis kunne erstattes af indirekte undersøgelser som georadarundersøgelser. Det er ikke en nem opgave med georadar at kortlægge de relevante laggrænser med den krævede præcision, og i undersøgelser for danske jernbaner gennemføres der stadig forsøg på at optimere grej og set up i forsøget på at nå disse mål. Eksempler herpå gives i artiklen

1 INDLEDNING

Både for komforten for passagererne under kørslen og for reduktion af omfanget af nødvendige vedligeholdelsesarbejder er det vigtigt, at et jernbanespor ligger stabilt og sætningsfrit. For at sikre at dette er tilfældet, lægges selve sporkonstruktionen på en såkaldt sporkasse, som normalt består af et lag af ballastskærver over et lag af sand/grus ("underballast"). Kravene til sammensætning og tykkelse af disse lag er i høj grad erfaringsbaserede, og ikke mindst på grund af klimaforhold varierer kravene fra land til land, selv om der i de senere år er gjort en stor indsats for at standardisere f.eks. kravene til ballastmaterialerne på europæisk plan.



Figur 1. Elementer i opbygningen af et bane-tværsprofil. Betydningen af forkortelserne fremgår af figur 2.

I Danmark er der indenfor de seneste 5-10 år blevet udarbejdet et omfattende system af såkaldte Banenormer, hvori krav til alle elementer i et baneanlæg defineres. Fig. 1. er taget fra Banenorm BN1-6-1, Tværsprofiler for ballasteret spor [1], og den viser betegnelserne for de

elementer, der indgår i et jernbanetværprofil. Fig. 2 opstiller de krav til geometrien der gælder i Danmark efter at en større sporombygning er gennemført.

I Danmark har vedligeholdelsen af jernbaneanlæggene igennem en årrække været nedprioriteret, og der er opstået et stort vedligeholdelsesmæssigt efterslæb. Dette har haft alvorlige konsekvenser for regulariteten, og det er derfor glædeligt at der nu er bevilget betydelige beløb til hovedrenoveringer ("større sporombygninger") af store dele af jernbanenettet og tilmed til opgradering af nogle strækninger. Når større sporombygninger skal gennemføres, skal banenormernes krav til anlægget være opfyldt efter ombygningsarbejdets afslutning. Dette betyder eksempelvis, at ballastlaget målt fra svelleunderside skal være mindst 30 cm tykt og underballastlaget 20 cm tykt under et ombygget spor, hvori der skal køres med større hastighed end 120 km/t.

På en typisk dansk strækning viser det sig erfaringsmæssigt, at lagtykkelserne før sporombygningen er for små under 5-15 % af strækningen i forhold til Banenormens krav. Når det kun er ballastlaget, der er for tyndt, mens den samlede lagtykkelse overholder kravene, kan problemet løses igennem en maskinel ballastrensning, hvor ballastrenseren indstilles til at fjerne det øvre underballastlag og erstatte dette med ballast. Men hvor den samlede lagtykkelse er for lille, må hele sporkassen bortgraves og erstattes af en ny. En sådan totaludskiftning af hele sporkassen er meget bekostelig, og det har derfor stor betydning at få de delstrækninger kortlagt og afgrænset præcist, hvor lagtykkelserne er for små.

Element	Minimumskrav for sidespor	Minimumskrav for hoved- og togvejsspor		
		$V \leq 160$ Km/h	$160 < V \leq 200$ Km/h	$200 < V \leq 250$ Km/h
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Ballastskulderens bredde (B_{sk})	300	400	500	500
Anlæg af ballastskråning (a)	1,5	1,5	1,5	1,5
Ballastens tykkelse (B_t)	300	300	300	350
Underballastens tykkelse (U_t)	100	100	200	300
Bærelagets samlede tykkelse ($B_t + U_t$)	400	450	550	650
Planumbredde (P_b)	3000	3000	3000	3800
Hældning af planum (X_p)	40 o/oo	40 o/oo	40 o/oo	40 o/oo

Figur 2. Krav til sporkassens opbygning og geometri efter gennemførelsen af en større sporombygning

Et andet problem, der skal håndteres ved en sporombygning, er ballastens tilsmudsningegrad. I nytålført ballast må indholdet af materiale med mindre kornstørrelse end 22,5 mm ved udlægningen højst være 4 %, men med tiden forøges denne "smuldprocent" dels ved at skærvene slider finstof af hinanden og dels ved at "fremmed" materiale blæser ind i sporet. De fine partikler vaskes løbende nedad i ballastlaget, således at den øvre del af dette forbliver smuldfrit selv om hulrummene mellem stenene gradvis udfyldes nedefra og opad i lagets bund. Erfaringen viser, at der opstår problemer med at fastholde sporet, når smuldprocenten i laget under svelleundersideniveau overstiger ca. 30 %.

Et tredje problem for sporenes stabilitet er vand i sporkassen. Når sporkassen er ideelt opbygget med en geometri som vist op fig. 1, vil alt vand, der tilføres sporet, straks blive afledt til langsgående grøft eller rørlagt grøft, som fører vandet til recipient. Men når grøften ikke vedligeholdes tilstrækkeligt, vil der komme til at stå vand i den. Imidlertid er vand i selve sporkassen ofte et problem, selv når grøften er vedligeholdt og velfungerende. Dette skyldes, at der har dannet sig en lavpermeabel barriere imellem sporkassen og grøften/drænet. Ofte er barrieren dannet af ballastrenseren, som har fjernet finstoffet i ballasten inde i sporkassen men ikke har udført rensningen helt ud til grøften.

2. KRAV TIL FORUNDERSØGELSER

Af ovenstående fremgår det, at det er vigtigt at foretage tilstrækkelige forundersøgelser forud for igangsættelsen af en større sporombygning til, at tilstanden af eksisterende sporkasse er kendt i detaljer før ombygningsarbejdet projekteres. Forundersøgelserne skal give præcise oplysninger om følgende:

- præcise tykkelser af ballast- og underballastlag samt karakter af underlag ("råjord")
- smuldindhold (procentdel af materiale mindre end 22,5 mm) i den del af skærvelaget der ligger under svelleundersideniveau
- delstrækninger med frit vand i sporkassen

Da prisen på udskiftning af hele sporkassen pr. m er meget høj, må de områder, hvor sådanne indgreb er nødvendige, afgrænses meget præcist.

Hidtil har forundersøgelserne i Danmark alene været baseret på boringer. Boringerne udføres med et lille indbyrdes interval på problematiske delstrækninger, og da borearbejde i hovedspor nødvendigvis må udføres i – oftest kortvarige – sporspæringer om natten, bliver sådanne borearbejder bekostelige.

Hvis de nødvendige oplysninger i stedet kunne fremskaffes ved indirekte målemetoder som f.eks. ved brug af georadar, kunne der opnås en kontinuert registrering af forholdene i stedet for den punktvis som boringerne jo repræsenterer, og dataindsamlingen i sporet kunne tilmed gennemføres langt hurtigere end ved boringer. Derfor har Banedanmark tilbagevendende rettet opmærksomheden imod georadarens muligheder helt siden denne blev introduceret i starten af 1970-erne.

3. BOREUNDERSØGELSER

Indsatsen med større sporombygninger har i Danmark igennem en årrække været meget lille, og tilsvarende har antallet af forundersøgelser været lavt. Forundersøgelsen af de få strækninger, som trods alt blev gennemført, rekvirerede Banedanmark hos udenlandske – ofte svenske – firmaer. Disse kunne sjældent udføre undersøgelser med kort varsel, og da er kun fandtes ganske få specialgrej, som kunne udføre arbejdet, var konkurrencen beskeden og priserne høje.

Da vedligeholdelsen blev opprioriteret og der måtte forudses et omfattende behov for undersøgelser udført på kort tid, valgte Banedanmark at udbyde ydelsen til en række indbudte

danske og udenlandske entreprenører. Arkil a/s gav det mest fordelagtige tilbud, men firmaet havde ikke stor rutine i undersøgelser af den aktuelle karakter. Der fulgte derfor en periode med intense udviklingsarbejder for grej og arbejdsmetoder.

Arkil valgte at udvikle et grej, hvor et ca. 1,5 m langt stålør med en diameter på ca. 20 cm blev bragt ned igennem ballast- og underballastlaget ved anvendelse af højfrekvent vibration. Inden i stålørret blev en plast-liner med lidt mindre diameter placeret, og denne stod på en lille "hylde" i form af en fortykkelse af stålørrets inderside lige over skæret. Efter nedboringen blev lineringen med sit indhold af prøvemateriale taget ud af stålørret, mærket og hjembragt til laboratoriet, hvor den blev skåret op og beskrevet efter retningslinierne i Larsen et al 1995 [2] (figur 4). Derefter blev der udtaget prøver til sigtning fra en delmængde af rørene.

Ret hurtigt efter opstarten af undersøgelserne blev der fra bygherren rejst tvivl om linerprøvernes kvalitet, og der blev gennemført forsøg med sammenligning af registreringer af håndgravninger igennem sporkassen med boringer udført samme sted. Den første fokus blev



Figur 3. Arkils "boretog".

rettet imod, om prøverne tog skade af den megen transport, og for at imødegå dette mulige problem valgte man at indbygge et lille "laboratorium" i boretoget til opskæring af rør og prøvebedømmelse umiddelbart efter prøveoptagningen. Imidlertid var der stadig iøjnefaldende problemer med prøverne, bl.a. med, at ballastoversiden inde i røret flyttede sig – oftest nedad, men af og til opad – under nedboringen, hvilket var et tydeligt tegn på, at materialet blev forstyrret og muligvis delvis fortrængt under boreprocessen.

Næste trin i udviklingen var, at man gik over til at anvende et rør uden linere men med en slidse, hvorigennem prøven kunne beskrives. Ballastprøvetagningen var dog stadig forbundet med betydelig usikkerhed, idet den foregik ud igennem bunden af røret. Næste model var et rør med en bred slidse med en dækplade, som blev fjernet efter opboringen (fig.5). Det gav en mere sikker prøvetagning af ballastprøven, men først da man fjernede "hylden" i indersiden af skæret og dermed fik et skarpt og tyndt skær, blev der opnået en reduktion af problemet med at ballastoverfladen inde i røret blev forskudt.

Der var stadig en – formodentlig berettiget - tvivl hos bygherren om, hvorvidt laggrænserne blev forskudt og dele af materialet fortrængt under opboringen. Derfor valgte Arkil at udvikle et markant anderledes grej, som alene bestod af en ca. 3 cm tyk stålstang, hvori der blev

skåret riller. Boret har således karakter af et simpelt karteringsbor. Boret blev bragt ned ved højfrekvent vibration og roteret før optrækningen. Det stod hurtigt klart, at man med dette simple grej kunne opnå en prøvetagning hvor laggrænserne ikke blev forstyrret eller forskub-



Figur 4. Gennemskåret plast-liner med prøve

bet under nedboring/optrækning (fig.6). Rillen er tom ud for laget af ren ballast, men alle lag fra den snavsede ballast og nedad er nydeligt repræsenteret i rillen. Der kan ikke tages prøver til laboratorieforsøg med karteringsboret, men der kan opnås et præcist billede af den uforstyrrede, intakte lagserie, hvilket gør det muligt at korrigere lagserien i en rørprøve udtaget på samme sted, således at eventuelle supplerende forsøg og prøveudtagninger kan foretages i det korrekte niveau.



Figur 5. Sporkasseboring udført med rør med bred slidse.

4. GEORADARUNDERØGELSER

Der ville være meget at vinde for Banedanmark, hvis boreundersøgelserne helt eller delvis kunne erstattes af indirekte målemetoder som f.eks. georadarundersøgelser. Dels vil der kunne

opnås kontinuerte registreringer i stedet for boremetodens punktundersøgelser, og dels vil feltarbejdet kunne udføres på langt kortere tid. Da dataopsamlingen kan gennemføres med kørehastigheder på 60 km/t eller mere, kan georadartoget endda ofte indpasses i den almindelige trafik og udføres i dagtimerne.



Figur 6. Ballastboring foretaget med hydraulisk nedbragt karteringsbor

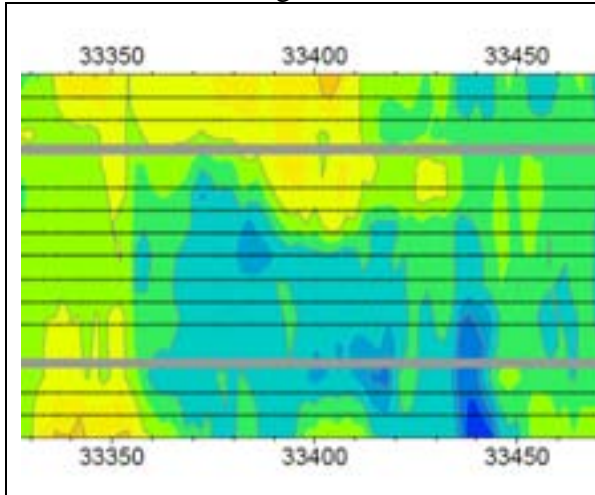
De danske jernbaner har gjort sig sådanne tanker helt tilbage fra tidligt i 1970-erne, hvor georadaren gjorde sit første indtog i Danmark, men indtil for få år siden var det ikke lykkedes at skabe anvendelige resultater med metoden. I de seneste forsøg har opmærksomheden alene været rettet imod selve sporkassen og dennes umiddelbare underlag. Mulighederne har her vist sig så interessante, at Banedanmark har besluttet i 2008 at gennemføre de planlagte forundersøgelser for sporombygningsprojekter som en kombination af georadarmålinger og et reduceret omfang af boringer.



Figur 7. Georadargrej med 3 antenner fra Ground Controls undersøgelse i 2007

Beslutningen om at igangsætte et ”forsøgsår”, hvor georadarresultaterne tillægges stor vægt ved projekteringen af sporombygningerne, er baseret på nogle relativt lovende resultater, som blev opnået ved forsøg, hvori flere specialistfirmaer deltog. Blandt disse skal omtales firmaet

Orbicons forsøg, hvor der blev anvendt 13 antenner placeret på tværs af sporet, og hvor der blev opnået en egentlig morfologisk kortlægning af råjordsoversiden og af underballastoversiden. Fig. 8 viser et eksempel på underballastoverfladens morfologi kortlagt på en godt 200 m lang strækning af Kystbanen mellem Hellerup og Helsingør. Datamængden ved kortlægning med så mange antenner er meget stor, og proceseringen tidskrævende og dermed relativt bekostelig. Til gengæld opnås der et meget detaljeret billede af de aktuelle overfladers morfologi.



Figur 8. Underballastoverflade på Kystbanen mellem ca. km 33,25 og 33,47 kortlagt med georadar af Orbicon. De grå vandrette streger viser skinnernes placering, mens de sorte vandrette linier markerer antenneplaceringen

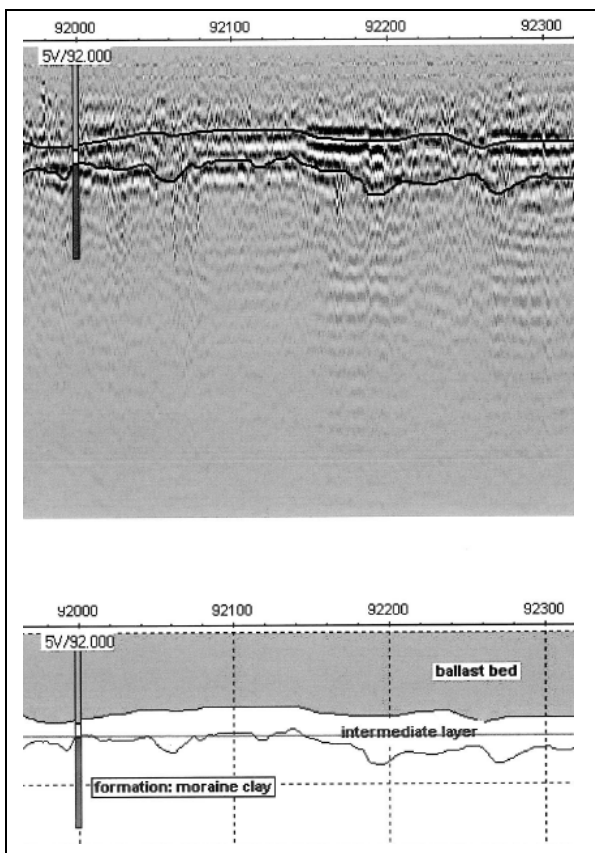


Fig. 9. Tolket radargram fra Fredericia-Århus-banen km 92.0-92.3 fra Ground Controls undersøgelse

Den anden forsøgsserie der blev gennemført i 2007 med forholdsvis lovende resultater blev udført af det tyske firma Ground Control, som anvendte et set up med 3 antenner, hvoraf en var placeret over spormidte mens de to andre var placeret lige udenfor ydersiden af hver af skinnerne. Materialet proceseres her todimensionalt som tre længdesnit. Figur 9 viser et længdesnit i spormidte på en ca. 300 m lang delstrækning på Fredericia-Århusbanen mellem km 92,0 og 92,3.

Som det allerede er nævnt, er kravet til nøjagtighed ved kortlægningen af laggrænserne meget stort, idet en måling der viser at et samlet ballast/underballastlag bare er nogle få cm for tyndt fører til en unødvendig, men meget bekostelig bortgravning af hele sporkassen. Georadarmålingerne skal derfor – støttet af boreresultaterne – kunne kortlægge dybden til undersiden af underballastlaget med en usikkerhed der ikke må overstige 6-8 cm. Forsøgene i 2007 blev gennemført på strækninger, som allerede var kortlagt ved et omfattende boreprogram, og georadarfirmaet fik kun udleveret et mindre antal af boreprofilerne, fordelt jævnt over strækningen. De øvrige borer blev anvendt til kontrol af de tolkede resultater, og kontrollen viste, at georadarfirmaerne nok kunne kortlægge det overordnede forløb af de kortlagte flader, men at de trods alt angav den aktuelle flade med en usikkerhed på 8 cm eller større i omkring 40 % af punkterne. Det ene af de georadarfirmaer, der deltog i forsøgene, mente at kunne kortlægge delstrækninger med vand i sporet, men heller ikke på det punkt var træfsikkerheden tilfredsstillende.

De involverede firmaer vurderer, at set up-et kan optimeres ved tilpasning til danske forhold, og at en væsentligt større træfsikkerhed kan opnås. Dette vil blive forsøgt i ”prøveåret” 2008, og først herefter vil det endelig kunne konkluderes om nøjagtigheden kan gøres så stor, sporombygningsprojekter i fremtiden for en væsentlig del kan baseres på georadarmålinger.

5. REFERENCER

1. Banenorm BN1-6-1, 2006. Tværprofiler for ballasteret spor. Banedanmark 2006.
2. Larsen, G. Frederiksen, J. Villumsen, A. Foged, N. Knudsen, B. Baumann, J. og Gravesen P, 1995. Ingeniørgeologisk Prøvebeskrivelse. Dansk Geoteknisk Forening, Bulletin 1, 2. oplag, 1995.