

EXECUTIVE SUMMARY

25. juni 2014
Journalnr. 12/07987

DTU's undersøgelser af lav adhæsion / glatte skinner

1. Opgaven

Nærværende undersøgelse af forekomsten af lav adhæsion / "glatte skinner" er en opfølgning på DTU's undersøgelser af IC4 togenes bremseadfærd ved Marslev den 7. november 2011, som blev gennemført for Transportministeriet og DSB i perioden april - juni 2012, og som konkluderede at den helt overvejende årsag til IC4 togets lange standselængde ved Marslev-hændelsen var lav adhæsion, det vil sige "glathed" mellem hjul og skinner. Afledt af dette resultat er der opstået en interesse og et behov for en bredere analyse af sikkerhedskritiske faktorer i forbindelse med togdrift, som belyser fænomenet adhæsion i almindelighed.

Adhæsion er et resultat af samspillet mellem tog, hjul og skinne. Dette samspil påvirkes af en række faktorer: dels af togets fremdrift, hjulet og skinnen (legering, slitage, krumning m.v.), og dels af "dét, der er imellem" hjul og skinne, det vil sige eventuelle belægningspartikler på skinnen. Disse skinnebelægningspartikler er resultat af klimatiske, geografiske og tidsmæssige faktorer og varierer således med vejr, sted og årstid.

Med henblik på en nærmere analyse af årsager og virkninger for dette samspil og dets betydning for sikker togdrift har Transportministeriet og DSB bedt DTU om at gennemføre nedenstående tre udredningsopgaver, som DTU har gennemført i perioden oktober 2012 – oktober 2013:

- En erfaringsindsamling med henblik på, hvordan andre lande i Nord- og Mellemeuropa håndterer lav adhæsion / "glatte skinner".
- En systematisk kortlægning af hyppighed og omfang af lav adhæsion / glatte skinner for togtyperne IC4 og IC3 i løvfaldsperioden 2012 på en række togstrækninger i hele landet med det formål at

undersøge, om der kan etableres et dynamisk "landkort" over områder i Danmark med en øget sandsynlighed for periodisk forekomst af lav adhæsion, og dermed en relativ øget sandsynlighed for hændelser især i forbindelse med nedbremsning.

- En undersøgelse af adhæsions- / friktionsforhold mellem hjul og skinne under kontrollerede laboratorieforhold ved anvendelse af forskellige smøremidler (sæbe (som beskrevet i teststandard), olie og bladsaft) med det formål at afklare, om der er forskelle mellem IC3 og IC4 togets hjul, som har betydning for de to togtypers standseadfærd under de forskellige forsøgsopsætninger. Baggrunden herfor er, at IC4 hjul er lavet af en lidt "blødere" stål-legering end IC3 hjul og undersøgelserne skal afdække standselængdens eventuelle afhængighed af dette forhold.

2. Overordnede resultater

Ekstrem lav adhæsion er en følge af "et tredje lag" mellem hjul og skinne. Dette lag dannes af en kombination af let fugtighed og forurening (for eksempel løvrest, rust, olie, luftforurening m.v.), som sætter sig på skinnen. Ekstrem lav adhæsion kan optræde og forsvinde i løbet af meget kort tid og opstår tilfældige steder, dog er der områder med højere sandsynlighed for at der forekommer glatte skinner (for eksempel i skovområder med løvtræer). Prædiktion af, hvor og hvornår områder med lav adhæsion optræder, og hvor udstrakte de er, kan foretages med såkaldte stokastiske modeller.

Både internationalt og i Danmark er der implementeret tiltag, der skal reducere risici og gener ved lav adhæsion, dels for at mindske slitage ved slip/slide, dels for at fastholde regularitet i køreplanerne og endelig af hensyn til sikkerhedskritiske forhold.

2.1. Internationale erfaringer med håndtering af lav adhæsion

DTU's gennemgang af en række nordeuropæiske landes erfaringer med den praktiske håndtering af lav adhæsion / glatte skinner viser, at der findes en række håndteringsstrategier og dertil hørende tiltag og foranstaltninger på forskellige organisatoriske niveauer og områder: 1) Detektering og prædiktion; 2) Tekniske løsninger ved toget; 3) Forebyggende foranstaltninger langs banestrækninger; 4) Foranstaltninger rettet mod lokoførere og operatører. Den optimale sammensætning af tiltag er afhængig af dels den nationale togdrift (frekvens, køreplaner, m.v.) og dels af landenes jernbaneinfrastruktur.

Fælles for alle undersøgte landes vedkommende er, at ansvaret for håndtering af glatte skinner er fordelt på flere parter (operatører, infrastrukturejere, m.v.). For at opnå en optimal effekt af de forskellige tiltag er det afgørende, at de ansvarlige organisationer afstemmer redskaber og deres anvendelse med hinanden med henblik på at undgå, at optimering af isolerede og ukoordinerede indsatser fører til et suboptimalt samlet resultat.

De internationale erfaringer tyder endvidere på, at hoveddrivkraften for de forskellige landes indsats mod glatte skinner primært er driftsrelateret, nemlig dels sikring af køreplan-regularitet, dels reduktion af slitage på hjul og skinner. Først i anden række motiveres tiltagene af hensynet til sikkerhed.

2.2. Danske tiltag

I Danmark er håndteringen af glatte skinner allerede i en årrække blevet betragtet som et fælles anliggende mellem infrastrukturforvalteren, Banedanmark (BDK), og alle jernbanevirksomheder, der kører på BDK's skinnenet. Der sker en koordinering mellem disse organisationer, primært med henblik på at sikre rettidighed i jernbanetrafikken og med fokus på løvfaldssæsonen (det vil sige fra 1/10 til 31/11). Af BDK's notat af 23. oktober 2013 fremgår¹ hvilke praktiske tiltag der aktuelt tages i brug:

- Vegetationskontrol langs sporene for at begrænse løv på skinner (BDK)
- Kørsel for at forhindre og opløse rustdannelser på skinnerne (BDK)
- Spuling af skinner for at rense skinnerne for eventuelle belægninger (BDK)
- Disponeringsplaner for afvikling af togtrafikken i løvfaldsperioden (BDK + jernbanevirksomheder)
- Instruktion af lokomotivførerne i kørsel under særlige forhold (jernbanevirksomheder)
- Vedligeholdelse af materiellets motorer og hjul (jernbanevirksomheder)
- Varslingssystem via togradio, som videregiver lokomotivførernes observationer til kollegaerne
- Systematisk opsamling af data om tog og evaluering af disse med henblik på en løbende optimering af forholdsregler og håndtering
- Systematisk registrering og analyse af data for signalforbikørsler siden 2006

Indsatsen er koncentreret på løvfaldsperioden og håndteres fra det fælles driftscenter for afvikling af togtrafikken på BDKs skinnenet (Driftcenter Danmark), som samler og analyserer data og koordinerer indsatsen.

2.3. Kortlægning af adhæsion i Danmark

DTU har gennemført empiriske undersøgelser med det formål at belyse, om en sandsynlighedsmodel for forekomsten af lav adhæsion kan etableres. En sandsynlighedsmodel er grundlag for at kunne forudsige et risikoniveau på baggrund af en række eksterne givne forhold, for nærværende undersøgelse er det blandt andet vejr, bevoksning, banelegemets karakteristika.

På det foreliggende datagrundlag er det muligt at konkludere, at en sådan model vil kunne opstilles. Imidlertid er der af tekniske årsager i øjeblikket ikke tilstrækkelig data til rådighed til udarbejdelse af en generel omfattende, landsdækkende model.

Der er i undersøgelsen således arbejdet med en proxy til bremsnings-slide, nemlig blokeringsinformationer fra togsystemet, det såkaldte "blokeringsflag". Blokeringsflaget er et signal, som registreres i togets log når en hjulaksel "glider" i forhold til skinnen.

DTU vurderer, at denne metode er fuldtud tilstrækkelig til at gennemføre analysen og at resultaterne herfra kan lægges til grund for de konklusioner som undersøgelsen kommer frem til.

¹ Banedanmark: Notat af 23.10.2013: Håndtering af glatte skinner i Danmark

Centrale resultater, som kan uddrages af de foreliggende data er:

- Sandsynligheden for, at der optræder blokeringsflag afhænger af følgende forhold:
 - o Meteorologiske forhold; dugpunkt, vind, fugtighed, nedbør m.v. (skinnernes glathed)
 - o Togets hastighed i bremsningsøjeblikket
 - o Togets bremsekraft
 - o Skinnernes egenskaber i form af kurver samt stigninger / fordybninger
 - o Løvfald
- Der er i de analyserede data signifikant statistisk understøttelse af, at blokeringsflag optræder oftere for IC4 tog end IC3 tog. Denne signifikans understøtter imidlertid ikke i sig selv en hypotese om signifikant forskel mellem IC3 og IC4 togs bremseadfærd i situationer med lav adhæsion, primært begrundet i det forhold, at det ikke har været muligt at få bekræftet, om IC3 og IC4 togenes computere registrerer blokeringsflag med samme følsomhed.

DTU vurderer, at en sandsynlighedsmodel for forekomsten af lav adhæsion kan etableres, både i og udenfor løvfaldsperioden, og for en vilkårlig skinnestrækning. Det vil i givet fald kræve en tilpasning af de data, der indsamles, primært en øgning af GPS-frekvensen, således at det bliver muligt at aflæse den faktiske deceleration af togene. Herudover er der brug for on-line adgang til de relevante meteorologiske forhold.

En løbende opdatering på aktuelle adhæsionsforhold langs banestrækningerne vil sætte operatørerne i stand til at udstede målrettede advarsler (både i tid og sted) og giver lokomotivførerne mulighed for at justere kørestil i forhold til adhæsionsforholdene, samt anvende eventuelle tekniske løsninger på selve toget for at afhjælpe gener og risici ved glatte skinner.

Pålidelige prognoser kan endvidere understøtte timingen af infrastrukturejernes igangsættelse af forebyggende foranstaltninger langs banestrækninger (for eksempel højtryksspuling af skinnerne, anvendelse af Sandite e.l.).

2.4. IC3 og IC4 togenes hjul

Blandt de faktorer, der kan påvirke et togs bremse- /accelerationsadfærd er toghjulenes beskaffenhed. Efter Marslevhændelsen har det været drøftet, om det forhold, at IC3 togets hjul er lavet af en lidt hårdere legering end IC4 togets kan være årsag til forskellighed i de to hjultypers bremseevne og dermed kan forklare, hvorfor der for IC3 togets vedkommende i løbet af de 24 år denne togtype har været i drift, ikke er registreret en hændelse svarende til den ved Marslev.

For at afklare dette har DTU gennemført en række tribologiske eksperimenter med både IC4 og IC3 hjul. Disse undersøgelser har udsat materiale fra IC4 og IC3 hjul imod materiale fra en skinne for flere smøremidler, (bladsaft, olie og sæbe), og registreret hjulenes friktionsadfærd. Resultatet af undersøgelserne er, at de to hjultyper ikke udviste signifikante forskelle i bremseadfærd under anvendelse af de forskellige smøremidler, hvorfor det konkluderes, at IC3 og IC4 hjulenes legering ikke ser ud til at

være en væsentlig eller sandsynlig årsag til eventuelle forskelligheder i de to togtypers bremseadfærd. Dermed bidrager de to hjultypernes forskellige beskaffenhed ikke til nogen forklaring på, hvorfor en hændelse svarende til IC4 togets ved Marslev ikke er registreret for noget IC3 tog.

3. Rapporten vedrører ikke sikkerheden

Det skal bemærkes, at denne undersøgelse ikke påpeger - eller har registreret - sikkerhedsmæssige forhold (f.eks. signalforbikørsler) i forbindelse med lav adhæsion og hjulslip i undersøgelsesperioden. Undersøgelsen beskriver således alene sandsynligheden for at fænomenet hjulslip opstår under en række givne forudsætninger for de to undersøgte materieltyper (IC4 og IC3). Rapporten forholder sig således ikke til, om der er jernbanesikkerhedsmæssige problemer med de undersøgte materieltyper.

4. DTU's anbefalinger

På baggrund af ovenstående analyse- og undersøgelsesresultater anbefaler DTU følgende:

- I alle lande, der er omfattet af DTU's undersøgelse, findes der en række tiltag og foranstaltninger til håndtering af "glatte skinner". Det væsentlige i denne sammenhæng er koordineringen af de enkelte indsatser. De relevante parter bør derfor overveje – i forlængelse af det eksisterende samarbejde – at formulere en national strategi for adhæsionshåndtering, hvor man vurderer eksisterende og eventuelt nye tiltag og aftaler deres praktiske implementering, koordination samt opfølgning. Herefter vil konkrete opgaver kunne allokeres til eller aftales mellem relevante parter.
- På baggrund af resultaterne for DTU's undersøgelser er det DTU's vurdering, at der relativt let kan udarbejdes et landkort over strækninger i Danmark med øget risiko for periodisk forekomst af lav adhæsion. Derfor anbefales det, at der etableres et sådant landkort, og at dette gøres dynamisk med daglige adhæsionsudsigter, ved at inddrage variable såsom aktuel temperatur, nedbør, dugpunkt m.m.

DTU vurderer, at det vil være et værdifuldt grundlag for organisationernes beslutning om, hvornår og i hvilket omfang der er behov for varsling og håndtering af glatte skinner.

Landkortet vil kunne indgå i grundlaget for en national strategi for adhæsionshåndtering og koordineret implementering af konkrete adhæsionshåndteringstiltag.

Etablering af et (dynamisk) landkort vil kræve en tilpasning af dataindsamlingsprocedurerne (højere GPS frekvens) samt en udvidelse af geografi og tidsrum for indsamling af data.

- DTU's undersøgelser har godtgjort, at der kan etableres varslingsystemer. Der anbefales et enkelt og effektivt system for prædiktion og varsling, baseret på de foreslåede udvidede dataindsamlingsprocedurer og et pålideligt system til hurtig informationsdistribution til relevante aktører (infrastruktorejere, operatører, togførere).
- Set i lyset af den forventede fremtidige udvikling i togtrafik og togtyper på det danske skinnenet vurderes det, at både det dynamiske landkort og optimerede varslings- og informationsudvekslingssystemer vil være særdeles nyttige med hensyn til sikring af forhold som regularitet og driftssikkerhed.

5. Resultater for de enkelte arbejdspakker

5.1. Arbejdspakke C: Internationale erfaringer med glatte skinner

5.1.1. Formål

At indsamle erfaringer med håndtering af glatte skinner fra nordeuropæiske lande med lignende problemer.

5.1.2. Metode

Afholdelse af workshop med eksperter fra Tyskland, England, Holland og Sverige den 16. april 2013 på DTU. Indsamling og analyse af rapporter og videnskabelige artikler fra samme lande.

5.1.3. Resultater

DTU's systematiske gennemgang af en række nordeuropæiske landes erfaringer med den praktiske håndtering af lav adhæsion / glatte skinner leder til en overordnet opdeling af relevante foranstaltninger i:

Detektering og prædiktion:

Metoderne til detektering af glatte skinner omfatter både indrapporteringer fra lokoførere og automatisk registrering ved hjælp af WSP (Wheel Slide Protection, som svarer til en bils ABS), mens prædiktation generelt beror på vejruddsigter og empirisk kendskab til strækninger med høj sandsynlighed for forekomsten af glatte skinner.

Tekniske løsninger ved toget:

Tekniske løsninger, integreret i toget, omfatter blandt andet "sandere", som er beholdere med sand, som påføres skinnerne (manuelt eller automatisk) for at øge adhæsionen i nedbremsnings- og accelerationssituationer, og WSP systemer (s.o.), samt magnetskinnebremsere, som bremser toget ved at en bremseklod ved elektromagnetisk aktivering trækkes ned mod skinnerne. Endelig er der Eddy Current Brakes, som bremser ved hjælp af magnetfelter. Disse er stort set uafhængige af den aktuelle adhæsion.

Forebyggende foranstaltninger langs banestrækningerne:

Forebyggende foranstaltninger omfatter blandt andet periodisk højtryksspuling af skinner med vand for at fjerne det lag, der er årsag til lav adhæsion, øgning af adhæsionen ved systematisk anvendelse af Sandite (et gel med indhold af sand) på skinnerne, samt langsigtede foranstaltninger, så som opstilling af hegn og mure for at holde blade væk fra skinnerne, nedklipning af buske og træer samt andre metoder til at kontrollere vegetationen langs banestrækningen.

Foranstaltninger rettet mod operatørerne og lokoførere:

Disse omfatter blandt andet uddannelse af lokoførerne i køreteknik, instruktioner, og efterårs-køreplaner.

I flere nordeuropæiske lande har man erkendt glatte skinner som et reelt problem, der kræver forskellige modforholdsregler, ofte afhængigt af konkrete forhold i det enkelte land. Man har f.eks. i Tyskland udstyret nye tog med sandingsanlæg, medens man i Holland ikke har samme logistiske muligheder for genopfyldning af sådanne anlæg og i stedet har udviklet en metode til hyppig præparering af skinner i samarbejde mellem infrastrukturforvalter og operatør.

5.1.4. Konklusioner

Udfordringen fra glatte skinner udgør et problem, der ikke er begrænset til en bestemt togtype (f.eks. IC4) og det kræver derfor en koordineret indsats baseret på en rimelig balance mellem risiko og investering af ressourcer. Indsatsen bør desuden baseres på en vurdering af hensyn til både *sikkerhed* og *regularitet*. Lav adhæsion påvirker regulariteten direkte (forsinket acceleration), og visse sikkerhedsorienterede tiltag kan reducere regularitet (reduceret hastighed, tidligere opbremsning). Der vil således være tiltag, som kan give en marginal eller usikker sikkerhedsgevinst, men som indebærer store omkostninger i regularitet (og/eller gene, produktivitet ...), og som derfor næppe er retfærdiggjort. Omvendt findes der adhæsionsfremmende tiltag, som kan gavne både sikkerhed og regularitet, og som derfor kun skal vurderes ud fra en afvejning af omkostninger og gavn.

Ingen enkelt af de løsninger, som de europæiske operatører og myndigheder anvender, er i sig selv tilstrækkelige til at løse problemet. Desuden er flere løsninger afhængige af, at flere andre forhold implementeres. Eksempelvis ville en genindførelse af sandingsanlæg kræve et velorganiseret system til genopfyldninger, medens en mere effektiv og hyppig præparering (højtryksspuling) af skinnerne med langsomt kørende specialtog, kan medføre alvorlige forstyrrelser af køreplanen.

Det vil derfor være nødvendigt at aftale og implementere en sammenhængende kombination af flere forskellige tiltag, som i flere tilfælde kræver koordination på tværs af forskellige jernbaneorganisationer.

5.1.5. Anbefaling

DTU's kortlægning af internationale erfaringer omfatter ikke de konkrete tiltag, som faktisk er implementeret eller planlagt i Danmark. Rapporten kan derfor ikke i sig selv begrunde konkrete tiltag eller anbefalinger.

Der er i forvejen samarbejde mellem de berørte parter i Danmark om håndtering af lav adhæsion². De internationale erfaringer indikerer ligeledes at koordinering mellem de mange forskellige organisationer er nødvendig. Problemer med lav adhæsion går på tværs af de organisatoriske skel, der er opstået med opløsningen af tidligere tiders monopol og tiltag for at etablere et frit marked for togdrift, og derfor er et tæt samarbejde ikke bare naturligt men nødvendigt. Afhængigt af, hvor tæt det eksisterende samarbejde er, bør det overvejes at etablere en national strategi for håndtering af lav adhæsion, som indebærer at overordnede formål, delformål og tekniske og organisatoriske tiltag aftales inden konkrete opgaver fordeles mellem de involverede parter.

² Banedanmark: Notat af 23.10.2013: Håndtering af glatte skinner i Danmark

5.2. Arbejdspakke A: Registrering og kortlægning af lav adhæsion / glatte skinner i DK

5.2.1. Formål

Formålet med arbejdspakkens empiriske undersøgelser var en afprøvning af muligheden for at etablere en sandsynlighedsmodel for forekomsten af lav adhæsion.

5.2.2. Metode

DTU's kortlægning af forekomster af lav adhæsion beror på en kobling af GPS data med DLU-log både for IC3 og IC4 tog. Data er indsamlet af DSB i løvfaldsperioden oktober-november 2012 på strækningen København-Aarhus. Yderligere er meteorologiske data benyttet, samt oplysninger om banelegemet, så som skinneforhold og vegetation.

Den anvendte model er en såkaldt logistisk regressionsmodel, hvor sandsynligheden for, at et blokeringsflag forekommer i data er modelleret via tog- og skinnekaraktistika (herunder den umiddelbart tilgrænsende vegetationen) samt meteorologiske variable (bl.a. temperatur, vind, dugpunkt, nedbør).

Det skal bemærkes, at den opstillede model på grund af mangelfuldt datagrundlag ikke direkte modellerer adhæsion, men derimod det såkaldte 'blokeringsflag', som optræder i DLU log data filer som proxy for at toget blokerer hjulene med efterfølgende 'slide' af disse til følge.

5.2.3. Data

1. DLU datalogs fra sensorer monteret på togene;
2. GPS-data logs fra GPS udstyr monteret på togene;
3. Data fra Strækningsregisteret for at estimere afstand fra Københavns Hovedbanegård;
4. Data om sporumre fra BDK, som bruges til at estimere hvilket spor der køres på;
5. Data om sporkrumning fra Kurveregisteret;
6. Data om elevation / fordybning fra BDK;
7. Data om vegetationen langs sporene fra BDK;
8. Meteorologiske data fra Dansk Meteorologisk Institut (DMI).

5.2.4. Antagelser og forudsætninger

Kvalitetssikring og co-registrering af data fra de mange forskellige kilder har vist sig udfordrende. Det har været nødvendigt at justere fremsendte data for hastighedsprofiler og bremseprofiler på grund af fejlagtige tidsmålinger. Det er DTU's opfattelse at de resulterende modificerede data giver et retvisende billede af hastigheds-og nedbremsningsforløb, men dette er dog en antagelse, som ikke fuldstændigt kan verificeres. Anvendelsen af de meteorologiske data indeholder fortsat et element af usikkerhed, som gør at de detaljerede resultater skal tages med forbehold. De overordnede resultater forventes dog ikke at blive påvirket af dette.

Ydermere har det vist sig, at den benyttede frekvens for GPS-oplysninger om togets position er problematisk i forhold til den nøjagtighed, som resultater fra en sådan undersøgelse må formuleres med. Afstanden mellem GPS datapunkterne er således relativt stor i forhold til den nøjagtighed som de øvrige data angives med.

Undersøgelsens konklusioner baserer sig på resultater fra togekørsler fra blot 11 forskellige dage. Man skal holde sig dette for øje ved generalisering til hele løvfaldsperioden.

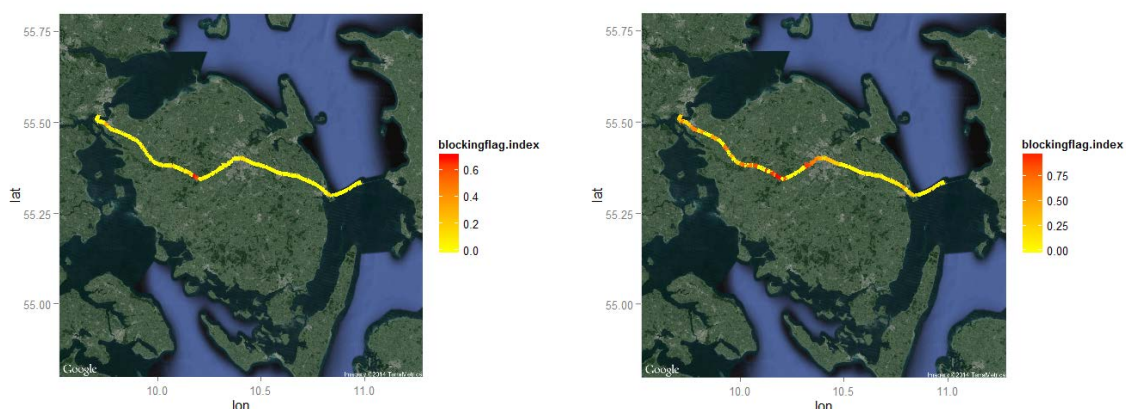
En fremtidig udvikling af et prædiktionssystem til lav adhæsion vil nødvendiggøre et mere robust datagrundlag.

5.2.5. Resultater

Analysen kan opsummeres i brede termer som følger:

- Det er muligt at modellere sandsynligheden for et blokeringsflag.
- Sandsynligheden for et blokeringsflag afhænger af:
 - o Glatheden af skinnerne
 - o Togets hastighed
 - o Bremskraften
 - o Karakteristika for sporet i form af kurver samt hævnings/forsænkninger
- Én faktor, der signifikant påvirker glatheden af skinnerne, er løvfald.
- Den samlede effekt af de fundne effekter af togtype (IC3/IC4) viser en signifikant højere sandsynlighed for blokeringsflag for IC4 tog sammenlignet med IC3 tog, når der korrigeres for forskelle i hastighed, nedbremsning, baneforhold, meteorologiske omstændigheder samt løvfald. Denne signifikans er dog utilstrækkelig i sig selv til at understøtte en konklusion om signifikant forskel mellem IC3 og IC4 togs bremseadfærd i situationer med lav adhæsion, primært fordi det ikke har været muligt at få bekræftet, hvorvidt IC3 og IC4 togenes computere registrerer blokeringsflag med samme følsomhed, men også grundet det mangelfulde datagrundlag.
- Med et tilstrækkeligt datagrundlag forventes det, at metoden kan udvides til, dels hele løvfaldsperioden, dels en vilkårlig skinneføring, også til tidspunkter udenfor løvfaldsperioden.

Som eksempel på mulighederne ses på figur 1 til venstre et kort over sandsynligheden for at initiere en blokeringssekvens for forholdende under en specifik togekørsel den 29. oktober 2012. Til højre ses et tilsvarende kort, hvor antagelsen er, at der køres med 180 km/h samtidigt med, at der bremses. Sidstnævnte kort viser således sandsynligheden, hvis der bremses på et vilkårligt sted langs banen, hvor førstnævnte kort viser sandsynligheden, hvor der aktuelt er blevet bremset på den aktuelle tur.



Figur 1.

Venstre side: Kort over sandsynligheden for at initiere en blokeringssekvens for en faktisk togkørsel, den 29. oktober 2012. De røde områder viser de strækninger, hvor der faktisk skete nedbremsninger og modellen viser at sandsynligheden for et blokeringsflag blev beregnet til at være høj (populært sagt: der kunne forekomme slide). Sandsynligheden for et blokeringsflag er selvsagt 0, hvor der ikke bremses.

Højre side: Kort over sandsynligheden for at initiere en blokeringssekvens for samme togkørsel. Nu under den antagelse, at *toget kører 180 km/h på hele strækningen og der nedbremses (bremseniveau 2.5) på hele strækningen* (populær forklaring: man kan forestille sig "der forsøges bremses en gang i sekundet"). De røde områder viser de strækninger, hvor modellen tilsiger, der er forøget sandsynlighed for at der kan forekomme slide. Modellen kan altså udtale sig om strækninger, hvor der ikke normalt bremses.

De terrænmæssige og de meteorologiske forhold ved de to kort er de samme, eneste forskel er "kørestilen".

Bemærk: for at fremhæve de forskellige skinnestrækninger visuelt er farveskalaen fra gul til rød for venstre figur 0-0.7 og for højre figur 0-1.0. Dette er et udslag af at køre 180 km/h på hele strækningen og have bremseniveau 2.5 på hele strækningen, hvilket naturligvis ikke er sket for den faktiske kørsel.

Figurerne illustrerer godt, hvordan modellen kan bruges prædiktivt under forskellige scenarier: fx med ændret kørestil, ændrede meteorologiske forhold, og ændrede terrænmæssige forhold.

5.2.6. Konklusioner

DTU vurderer at en sandsynlighedsmodel for forekomsten af lav adhæsion kan etableres. For at en sådan model kan blive generelt anvendelig skal dataopsamlingen forbedres. Blandt andet er en øgning af GPS-frekvensen vigtig for at man kan måle den aktuelle deceleration af toget. Yderligere er on-line access til meteorologiske variable nødvendig.

5.2.7. anbefalinger

Muligheden for at kunne håndtere udfordringerne med lav adhæsion på hurtig, målrettet og effektiv måde afhænger af kvaliteten og pålideligheden af de anvendte metoder til detektion og prædiktation af lav adhæsion under togkørslerne, samt den hastighed hvormed varslerne kan udbredes til de relevante operatører. En kontinuert opdatering om faktiske forhold med lav adhæsion langs sporerne vil tillade operatører at udstede målrettede varslinger i forhold til både tid og sted. Dette vil give lokomotivførerne mulighed for at tilpasse kørestilen til lav adhæsions forhold, samt iværksætte tekniske foranstaltninger ved toget for at imødekomme gener og risici ved lav adhæsion.

Pålidelige prognoser vil endvidere muliggøre optimal udnyttelse af præventive tiltag fra den infrastruktursvarlige som fx højtryksspuling, behandling med Sandite, etc.

Udarbejdelsen af et praktisk anvendeligt varslingsystem vil skulle basere sig på en fornyet og tidsmæssigt mere omfattende dataindsamling (blandt andet en langt højere GPS frekvens) end det i undersøgelsen anvendte datasæt.

Det er DTU's opfattelse, at det er relativt nemt at udvikle et landkort over strækninger i Danmark med forhøjet sandsynlighed for forekomst af glatte skinner og et tilhørende varslingsystem. Derfor er det

DTU's anbefaling, at en større dataindsamling bør initieres med dækning af relevante strækninger over hele landet og for alle årstider. Dette vil så kunne danne grundlag for opbygningen af et dynamisk kort til prædiktion og varsling af lav adhæsion.

5.3. Arbejdspakke B: Tribologiske undersøgelser

5.3.1. Formål

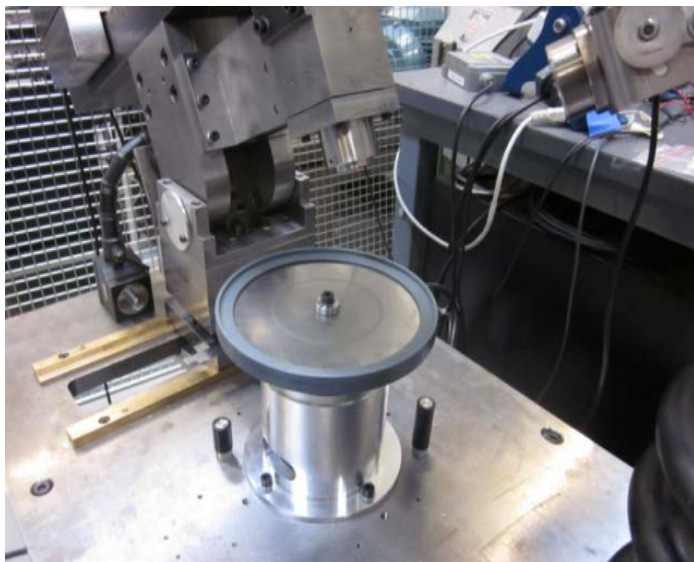
For at undersøge om friktionsforholdene mellem hjul og skinne på IC4-toget adskiller sig fra forholdene for IC3-toget er der foretaget en række eksperimentelle undersøgelser, hvor hjulmateriale fra hhv. IC4- og IC3-tog sammenlignes.

5.3.2. Metode

Undersøgelserne udføres på en "Pin-On-Disc"-testmaskine (se figur 2.). Denne type testmaskine er almindeligt anvendt til eksperimentel måling af friktionskoefficienter i industrien og på universiteter. Discen roterer med en forudbestemt vinkelhastighed og pinden trykkes med en kendt kraft mod discen. Det nødvendige moment til at rotere discen måles og friktionskoefficienten kan bestemmes.

Skinnematerialet af typen UIC 60, som bl.a. ligger på banestrækningen ved Marslev, anvendes som "disc" (se figur 3). Hjulmaterialet for IC3 er R8T stål, og for IC4 er det R7T stål. Begge ståltyper er almindeligt anvendte som hjulmaterialer. Hjulmaterialet indgår i testen som "pin" (se figur 4).

Forskellige "smøremidler" påføres "discen", for at simulere de forhold der er tilstedet når der er glatte skinner; bladsaft, smørefedt, flydende sæbe og rapsolie.



Figur 2. Pin on disc test rig.



Figur 3. Test disc.



Figur 4. Test pin.

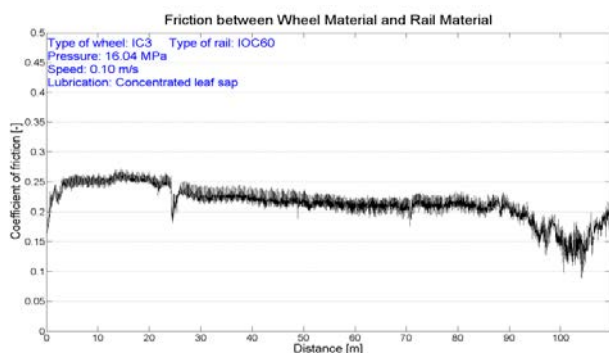
5.3.3. Antagelser og forudsætninger

Forsøgene er udført ved en relativ hastighed mellem pin og disk, der svarer til at toget kører med hastigheden 36 km/t og bremses med 1 % slip. Forsøgene er udført ved en temperatur på ca. 20°C.

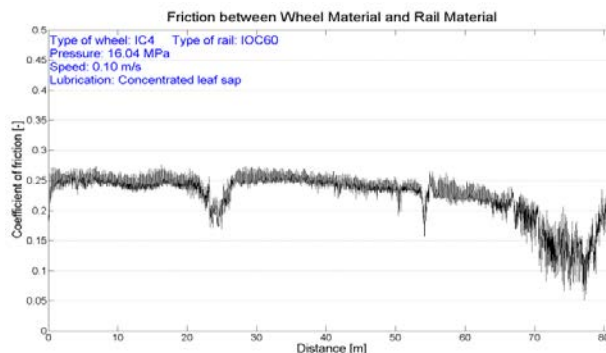
5.3.4. Resultater

Forsøg med bladsaft som smøremiddel (bøgeblade)

På figur 5 og figur 6 ses udviklingen i friktionskoefficienten for henholdsvis IC3-pin'en og IC4-pin'en, ved et kontaktryk på 16MPa. Friktionskoefficienten begynder at falde markant efter 90 meter i tilfældet med IC3-pin'en og efter 65 meter i tilfældet med IC4-pin'en. Dette fald i friktionskoefficienten sker samtidig med at bladsaften er tæt på udtørring. Den efterfølgende stigning i friktionskoefficienten sker efter bladsaften er udtørret.



Figur 5. Eksperiment med IC3-pin og bladsaft ved 16MPa.

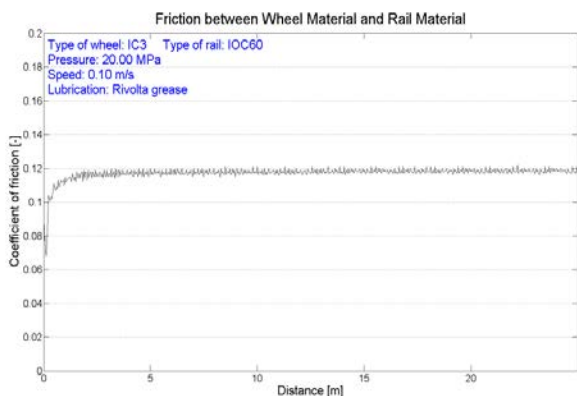


Figur 6. Eksperiment med IC4-pin og bladsaft ved 16MPa.

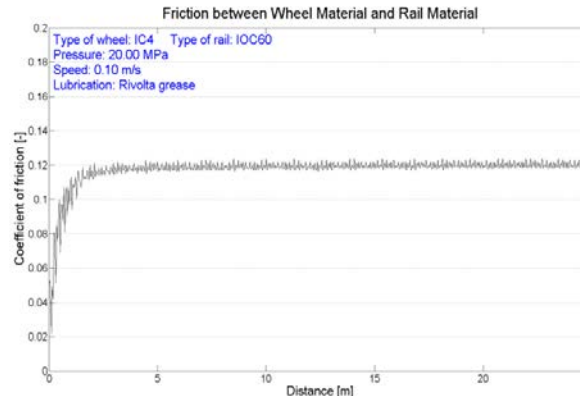
Forsøg med bladsaft er imidlertid ikke velegnede til at sammenligne de to hjulmaterialer, idet det er vanskeligt at skabe eksakt de samme forsøgsbetingelser fra forsøg til forsøg.

Forsøg med Rivolta smørefedt

Figur 7 og figur 8 viser graferne for forsøgene foretaget med Rivolta smørefedt ved et kontaktryk på 20MPa. Disse forsøg viser ikke nogle signifikante forskelle på de 2 hjulmaterialer med hensyn til friktionskoefficienten.



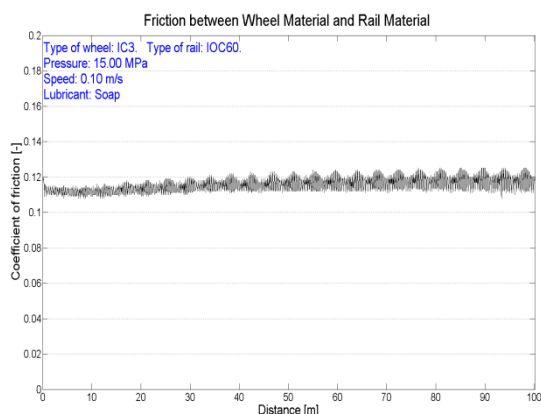
Figur 7. Eksperiment med IC3-pin of Rivolta smørefedt ved 20 MPa.



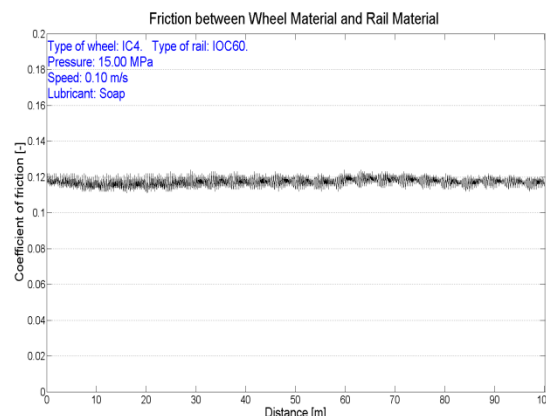
Figur 8. Eksperiment med IC4-pin of Rivolta smørefedt ved 20 MPa.

Forsøg med flydende sæbe som smøremiddel

På figur 9 og figur 10 ses graferne for henholdsvis IC3 og IC4-forsøget, udført med flydende sæbe som smøremiddel, ved et kontaktryk på 15MPa. Denne type sæbe har tidligere været anvendt ved fuldskaforføg ved Vojens. Forsøgene med sæbe viser ikke signifikante forskelle på IC3- og IC4-pin'en med hensyn til friktionskoefficienten.



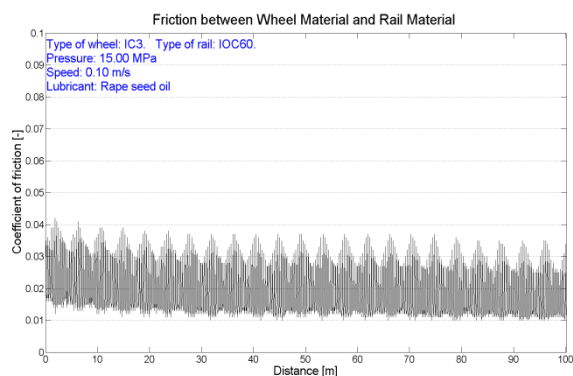
Figur 9. Eksperiment med IC3-pin og flydende sæbe ved 15 MPa.



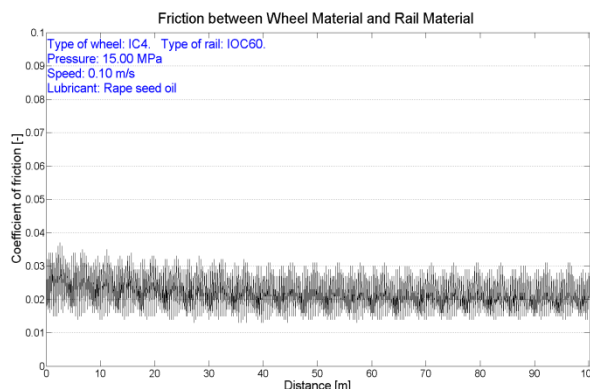
Figur 10. Eksperiment med IC4-pin og flydende sæbe ved 15 MPa.

Forsøg med rapsolie som smøremiddel

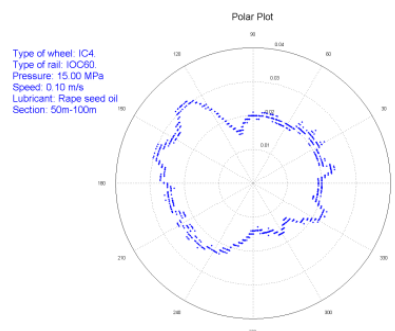
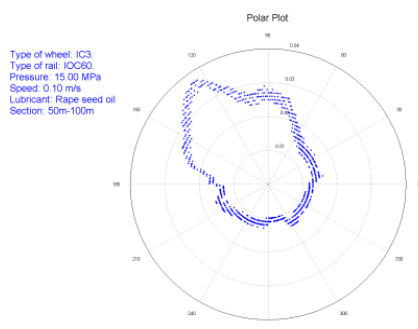
Rapsolie har, i lighed med sæben, været anvendt i fuldskaforføg ved Vojens. I mange af laboratorieforsøgene med rapsolie ændrer friktionskoefficienten sig markant, alt efter hvor testdisc'en er i sin rotationscyklus. Eksempler på dette ses figur 11 og 12, og især på polar-plottene på figur 13 og figur 14. På grund af disse udsving i friktionskoefficienten, vurderes det at forsøgene der er foretaget med rapsolie, ikke er et velegnede som sammenligningsgrundlag for de to hjulmaterialer.



Figur 11. Eksperiment med IC3-pin og rapsolie ved 15 MPa.



Figur 12. Eksperiment med IC4-pin og rapsolie ved 15 MPa.

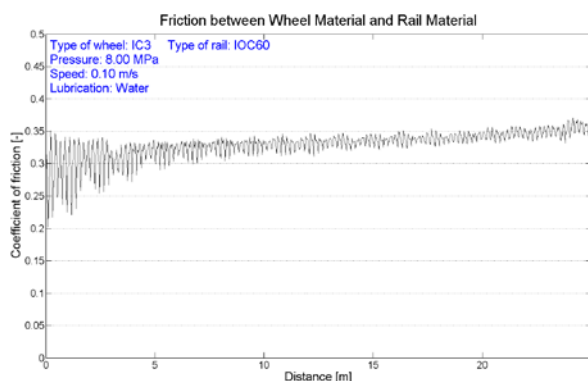


Forsøg med vand som smøremiddel

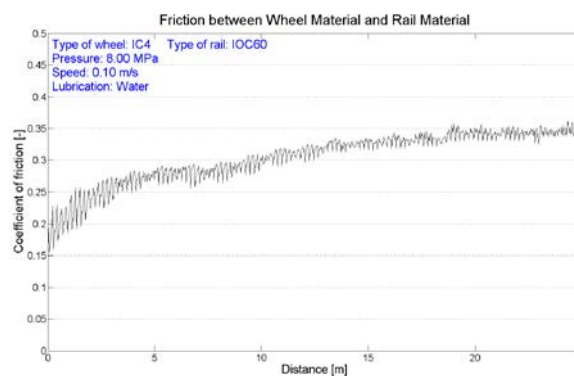
Figur 13. Eksperiment med IC3-pin og rapsolie ved 15 MPa.

Figur 14. Eksperiment med IC4-pin og rapsolie ved 15 MPa.

På figur 15 og figur 16 ses graferne for forsøgene med henholdsvis IC3-pin'en og IC4-pin'en, hvor vand er anvendt som smøremiddel. Friktionskoefficienten stabiliserer sig på omkring 0.35 for begge hjulmaterialers vedkommende. Til sammenligning er der i forsøgene med bladsaft målt friktionskoefficienter der ligger på 1/5 af friktionskoefficienten i forhold til forsøgene med vand.



Figur 15. Eksperiment med IC3-pin og vand ved 8MPa.



Figur 16. Eksperiment med IC4-pin og vand ved 8MPa.

5.3.5. Konklusioner

Der er ikke konstateret signifikant forskel på materialekombinationerne for hhv. IC3- og IC4-tog under de givne forsøgsbetingelser. Bremseevnen er således, hvad angår materialekombination mellem hjul og skinne, lige god for de to kombinationer.

Bladsaft i kontakten mellem hjul og skinne virker stærkt friktionsnedsættende ved bestemte koncentrationer af bladsaft. Friktionskoefficienten kan i ugunstige tilfælde reduceres til 1/5 af den normale.

Undersøgelser af friktionsforholdene baseret på anvendelse af sæbe eller smørefedt kan bruges ved sammenlignende tests, men afspejler næppe de forhold der opstår i forbindelse med "glatte skinner".

5.3.6. anbefalinger

Testrækken har haft til formål at undersøge om friktionsforholdene mellem hjul og skinne på IC4-toget adskiller sig fra forholdene for IC3-toget, og danner således ikke basis for anbefalinger.