

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Våta kopplingars livslängd



Jonas Jönsson, BorgWarner TorqueTransfer systems
140124
Delprogram Fordonsutveckling

Innehåll

1. Sammanfattning.....	3
2. Bakgrund	4
3. Syfte.....	6
4. Genomförande.....	6
5. Resultat	7
5.1 Bidrag till FFI-mål	9
6. Spridning och publicering.....	10
6.1 Kunskaps- och resultatspridning	10
6.2 Publikationer	10
7. Slutsatser och fortsatt forskning.....	11
8. Deltagande parter och kontaktpersoner	11

Kort om FFI

FFI är ett samarbete mellan staten och fordonsindustrin om att gemensamt finansiera forsknings-, innovations- och utvecklingsaktiviteter med fokus på områdena Klimat & Miljö samt Säkerhet. Satsningen innebär verksamhet för ca 1 miljard kr per år varav de offentliga medlen utgör hälften.

För närvarande finns fem delprogram Energi & miljö, Fordons- och trafiksäkerhet, Fordonsutveckling, Hållbar produktionsteknik och Transporteffektivitet. Läs mer på www.vinnova.se/ffi

Våta kopplingars livslängd I & II

Projektet våta kopplingars livslängd har genomförts som ett femårigt projekt, 2009-01-01 till 2013-12-31. Finansieringen under projektet har delats upp i två delprojekt, båda beviljade och finansierade från VINNOVA/FFI, varav det första projektet, ”Våta kopplingars livslängd”, genomfördes de första fyra åren (2009-2012), och det andra delprojektet, ”Våta kopplingars livslängd II”, genomfördes under 2013. Hela projektet har genomförts med samma projektpartners, dvs BorgWarner Transfer Systems (tidigare Haldex Traction), Statoil Fuel & Retail (tidigare Statoil Lubricants) och Luleå tekniska universitet.

Anledningen till att denna uppdelning gjordes var att det enbart fanns möjlighet att söka medel från VINNOVA/FFI för 4-åriga projekt när projektet inleddes. Denna rapportering baseras således på hela det femåriga projektets genomförande eftersom det forskningsarbete som bedrivits i de två delprojekten har gått in i varandra och är beroende av varandra, och är således svåra att separera på ett bra sätt.

1. Sammanfattning

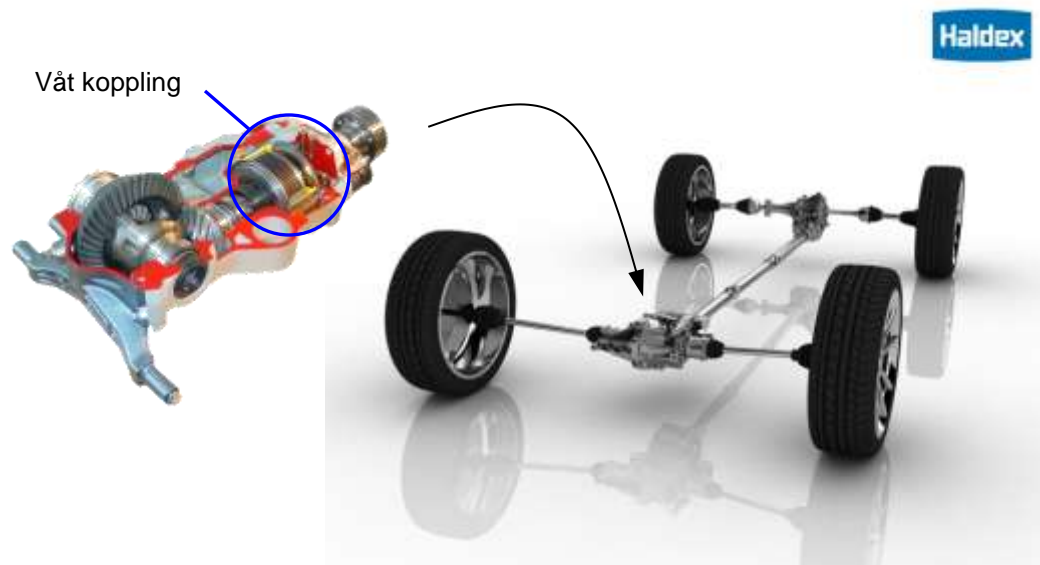
Inom fordonsindustrin finns alltid ett behov av att komponenter ska bli mindre, lättare, mer högpresterande, ha högre effekttäthet, kosta mindre samt ha längre livslängd. Komponenterna ska samtidigt bli ”smartare” det vill säga kunna ställa in sig efter rådande driftförhållanden samt ge information om det föreligger något akut servicebehov. Detta gäller givetvis också för våta kopplingar som via ett friktionsinterface överför vridmoment till olika delar i fordonet. Ett användningsområde finns inom fyrhjulsdriftsystem till bilar, där en våt koppling används för att styra vridmomentet till bakhjulen. Friktionsbeteendet i kopplingen förändras med tiden eftersom lamellytorna slits och smörjmedlets additiv (tillsatser) förbrukas/förändras. Forskning som genomförts i detta forskningsprojekt har syftat till att utreda hur ett kopplingssystem åldras, om åldringen kan fördröjas, åtgärdas och/eller predikteras. Forskningen har bedrivits i samarbete mellan Luleå tekniska universitet och industripartners BorgWarner TorqTransfer Systems (tidigare Haldex Traction) och Statoil Lubricants. BorgWarner tillverkar våta kopplingar till fyrhjulsdriftsystem och Statoil levererar smörjmedel till dessa. Målet med forskningsprojektet var att förstå hur livslängden förbrukas samt även att i förlängningen med hjälp av denna kunskap kunna förutspå livslängden. Arbetet har varit multidisciplinärt, dvs det gäller att ha kunnat plocka in kunskaper från olika områden, exempelvis:

- Maskinteknik, för att förstå applikationen
- Fysik och hållfasthetslära, för att förstå interaktionen mellan ytorna
- Kemi, exempelvis för att förstå interaktionen mellan olja och ytor samt för åldringen av oljan
- Materialkunskap, för att förstå hur ytorna påverkas
- Underhållsteknik, för att bygga modeller för att förutspå livslängd
- Termodynamik, för att förstå värmeöverföringen

När våta kopplingar åldras förändras friktionsbeteendet, vilket kan leda till haveri av andra mekaniska komponenter i drivlinan alternativt vibrationer och oljud från drivlinan. I detta forskningsprojekt har en testtrigg konstruerats för åldring av våta kopplingar. Testtriggen har utrustats med olika typer av givare för att mäta systemets tillstånd, exempelvis temperatur, vridmoment, kraft, tryck samt oljeparametrar som viskositet och densitet. Vidare har det också identifierats vilka parametrar som påverkar åldringen. Med hjälp av en åldringsmodell som har utvecklats i projektet kan man nu kompensera i kopplingens styrelektronik för förändringar i friktionen och på detta sätt undvika kostsamma haverier eller oönskade beteenden hos drivlinan. Åldringsmodellen kan även användas i utvecklingsprocessen med hjälp av en dynamikmodell av bilens drivlina som har utvecklats i projektet. På detta sätt kan man förutspå vilka typer av driftförhållanden som kan leda till problem med vibrationer och oljud.

2. Bakgrund

Inom fordonsindustrin finns alltid ett behov av att komponenter ska bli mindre, lättare, mer högpresterande, ha högre effekttäthet, kosta mindre samt ha längre livslängd. Komponenterna ska samtidigt bli ”smartare” det vill säga kunna ställa in sig efter rådande driftförhållanden samt ge information om det föreligger något akut servicebehov. Detta gäller givetvis också för våta kopplingar som ofta används i fordon för att överföra vridmoment i transmissioner. I en våt koppling överförs vridmomentet via ett friktionsinterface mellan friktionslameller som är monterade i kopplingen. I Haldex Limited Slip Coupling, se Figur 1, som är en del av ett fyrhjulsdriftsystem till bilar används en våt koppling för att styra vridmomentet till bakhjulen. Denna koppling tillverkas av BorgWarner TorqTransfer Systems (tidigare Haldex Traction), Landskrona Sverige.



Figur 1: Haldex Limited Slip Coupling och drivlina till personbil.



FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Friktionsbeteendet i kopplingen är en sammansatt funktion av flera olika parametrar, t.ex. friktionsmaterialet i friktionslamellerna, friktionslamellernas ytstruktur och smörjmedlets sammansättning. Dessutom förändras friktionsbeteendet under drift beroende på kopplingens temperatur och andra yttre faktorer såsom vibrationer och föroreningar i smörjmedlet.

Kopplingens friktionsbeteende förändras också med tiden eftersom lamellytorna slits och smörjmedlets additiv förbrukas/förändras. Tidigare fanns inte tillräckligt med kunskap om hur kopplingssystemet åldras vilket innebar tidsödande och kostsamma livslängdstester i industrin innan produkten kunde användas i drivlinan.

Kunskap om hur åldringsprocessen går, som har tagits fram i detta projekt, har gett ett antal nya möjligheter i designprocessen av ett nytt kopplingssystem:

- Systemet kan optimeras så att åldringen av systemet blir så liten som möjligt.
- Möjlighet att kompensera för åldringen av systemet så att funktionen och förarkomforten inte påverkas.
- En detaljerad kunskap om hur åldringsprocessen går till ger möjlighet att styra kopplingen på så sätt att åldringen minimeras
- Systematiska metoder att undersöka hur olika smörjmedel och friktionsmaterial åldras ger förbättrade möjligheter att använda nya material och smörjmedel i designen av en ny koppling.
- Kunskap om hur kopplingen åldras ger en möjlighet att minimera livslängdsprover av nya kopplingssystem i testrigg och fullskaletest.

3. Syfte

Projektet syftade till att få mer kunskap om hur systemets åldring sker, om den kan fördröjas, åtgärdas och/eller predikteras. Den kunskap som har tagits fram i projektet är väldigt viktig när nya kopplingssystem ska designas.

Projektet strävade efter att uppnå ny kunskap i ett område som hittills ej hade blivit undersökta i tillräcklig detalj, nämligen åldring av våta kopplingssystem. De mål och forskningsfrågor som låg till grund för arbetet som har utförts är:

- Att förstå hur och varför funktionen hos en våt koppling förändras med tiden.
- Att definiera livslängd – Dvs. specificera hur det går att avgöra den tribologiska livslängden och vad som avgör när livslängden är helt förbrukad.
- Att utveckla metoder för att mäta återstående livslängd – passivt och/eller aktivt.
- Att utveckla metoder att aktivt förlänga livslängd och funktion.
- Att utveckla förståelse för hur tre typer av test förhåller sig till varandra. D.v.s. hur kan modell- eller komponenttesters resultat översättas till fälttestresultat?
- Att utveckla metoder för studier av nötning i naturlig takt.

Ett syfte med projektet var att resultaten skulle bli direkt tillämpbara inom industrin och att resultaten skulle komma att leda till att våta kopplingar ska kunna optimeras i fråga om funktion, vikt och storlek. Direkta resultat av detta blir att man kan minimera den negativa miljöpåverkan genom att förbruka mindre smörjmedel i kopplingen samtidigt som den minskade vikten kommer att bidra till mindre utsläpp jämfört med nuvarande konstruktioner. Detta trots den uppenbara säkerhetsmässiga fördel som ett fordon med allhjulsdrift av ”Haldex-typ” har i jämförelse med en tvåhjuldriven motsvarighet av fordonet.

4. Genomförande

Projektet har genomförts i samarbete mellan Luleå tekniska universitet och industripartners BorgWarner TorqTransfer Systems och Statoil Fuel and Retail. Större delen av arbetet inom projektet har bestått av experimentell verksamhet, främst i

laborationsmiljö men även i fullskala fordonstest via testfordon på BorgWarner. I laborationsmiljö på Luleå tekniska universitet har ett flertal olika testriggar använts. Största delen av testerna utfördes i den rigg som byggdes inom projektet för att efterlikna den verkliga applikationen, dvs Haldex-kopplingen, och möjliggöra åldring under väl kontrollerade åldringssekvenser, även baserade på mätningar från fordonstest. Utöver arbetet i denna rigg har andra modelltest använts, typ Pin-on-disc-prov, samt åldringsprov i ugn och reologimätningar i viskometer.

På Statoil fuel and retail har flera olika åldringsprover genomförts, bl.a. i en s.k. Dry TOST (Turbine Oxidation Stability Test). Mätningar av olika smörjmedelsparametrar har även genomförts i Statoils test-laboratorium.

Mätningar på BorgWarner har främst genomförts i deras egna åldringsprov där ett kopplingssystem belastas hårt under ett antal veckor för att utreda om friktionssystemet är tillräckligt robust för att gå vidare till fordonstest. Åldring av oljan har även genomförts i fordonstest, och dessutom har den framtagna åldringsmodellen tillämpats i kopplingar i fordon av vissa fabrikat som numera återfinns på marknaden.

För att säkerställa att projektet har genomförts på ett sätt som har lett till att uppfylla projektmålen har, utöver regelbundna telefonmöten, även fysiska möten genomförts med alla projektpartners med ungefär 6 månaders intervall. Detta har gett alla partners en god insikt i arbetet som genomförts och möjlighet för alla att påverka riktningen för det fortsatta arbetet inom projektet. Dessa fysiska projektmöten har genomförts på både Luleå tekniska universitet, Borg Warners och Statoils lokaler, vilket också har lett till en kunskapspridning mellan såväl industrin som universitetet.

5. Resultat

Projektets huvudmål var att undersöka åldringsprocesserna hos våta kopplingssystem. För att kunna nå detta mål har flera olika åldringsmetoder av smörjmedel undersökts och friktionsbeteendet för de olika smörjmedlen har testats. Bl.a. har åldringsprover utförts i testrigg på Haldex Traction och i oxidationsrigg på Statoil Lubricants, samt att åldringseffekter hos smörjmedlen har simulerats genom att nya smörjmedel med lägre additiveringsgrad har formulerats och åldrats/testats med olika metoder hos alla projektpartners.

En stor del av projektet låg på att fokusera på hur man lämpligen kan åldra ett vått kopplingssystem i testrigg utan att accelerera testet så mycket att andra åldringsmekanismer än de som uppkommer i applikationen blev rådande. För att få bättre kontroll på åldringsproverna har en kopplingsriggen byggts på Luleå tekniska universitet som under projektet har användas för att åldra kopplingssystemet. Testriggens egenskaper har syftat till att bättre efterlikna arbetsvillkoren för kopplingen i den verkliga applikationen än vad som har varit möjligt med tidigare riggar. Det har bl.a. blivit möjligt att testa olika körcykler, liknande vad som är uppmätt i bil, som komplement till standardiserade mätningar där varvtal varierar linjärt under konstant axiell belastning på kopplingslamellerna.

Testerna som har utförts i riggen har utrett hur olika driftsförhållanden påverkar åldringen av systemet. Detta innebär till exempel vilka faktorer som är viktiga för åldringsprocessen och hur dessa faktorer påverkar systemet.

Vidare har även inkörning av kopplingssystemet undersökts i testrigg vid Luleå tekniska universitet. Testerna visar att inkörningsförloppet för den undersökta material-smörjmedels- kombinationen är väldigt snabb och att således att friktionsmätningarna inte påverkas särskilt mycket av olika inkörningsförlopp.

Det första steget i utvecklandet av mätmetoder och livslängdsmodellen var att bestämma vilka parametrar (oljaflöde, tryck, glidhastighet) som är lämpliga att använda sig av vid åldringstesterna. Det är viktigt att dessa parametrar stämmer väl mot applikationen i verkligheten för att resultaten skall vara relevanta mot den aktuella applikationen. De oljor som har undersökts har varit både av konventionell typ och förenklade s.k. modelloljor som möjliggör en med detaljerad förståelse av hur olika delar av smörjmedlet åldras.

För att analysera åldringen av de testade oljorna har termisk analys genomförts för att undersöka hur de ingående komponenterna i oljan har förbrukats. Dessa analyser syftar till att relatera de ingående komponenternas förbrukning kopplat mot temperatur- och tidsberoenden. Dessa resultat har sedan relateras till körningar i testrigg.

Oljeanalyser genomfördes ursprungligen med hjälp av differential scanning calorimetry (DSC) som bland annat kan användas för att studera oxidationsbeteendet hos oljan. Resultaten visade dock att metoden är olämplig att använda sig av då oljan förångas innan oxidationskaraktistiken kan fastställas. Därför gjordes de senare mätningarna med en utrustning för analys av antioxidantförbrukning i oljan, RULER (Remaining Useful Life Evaluation Routine).

En metod för att förutspå kvarstående livslängd till följd av oxidation av oljan togs fram där det är möjligt att simulera värmeutvecklingen i kopplingen som följd av kopplingens driftsförhållanden. Denna värmeutveckling kopplas sedan mot den experimentellt framtagna oxidationsmodellen för oljan och kvarstående livslängd kan på detta sätt förutspås. Tiden det tar, vid ett visst driftsfall, innan vibrationer i drivlinan uppstår kan på så sätt förutspås och ger kopplingens livslängd. Denna modell har också implementerats i styr-mjukvara i vissa fordon som använder sig av haldexkopplingen idag för att möjliggöra kompensation av friktionsförändringar med tid.

Den utvecklade simuleringsmodellen kan också användas som ett verktyg för att analysera hur drivlinans design påverkar tendenser till vibrationer i drivlinan. Mätdata från fälttest genomförda under olika typer av förhållanden, kan användas till att konstruera realistiska driftsfall. Dessa driftsfall kan sedan användas som indata till modellen och följaktligen kan livslängden för olika driftsförhållanden förutspås. Modellen kan också användas till parameterstudier för att se hur olika parametrar påverkar livslängden, exempelvis inverkan av bilens hastighet på kopplingens livslängd.

5.1 Bidrag till FFI-mål

Projektet har bidragit till följande FFI-mål tillhörande delområdet Fordonsutveckling på följande sätt:

- *Hur väl projektet fyller de målen som definierats inom transport-, energi samt miljöpolitiken:*
Projektet syftar bl.a. till att minska förbrukning av smörjmedel samt minska råvarukonsumtionen genom att öka livslängden på de undersökta fordonskomponenterna.
- *Industrins möjlighet att på ett konkurrenskraftigt sätt bedriva kunskapsbaserad produktion i Sverige.*
Partners till projektet är förutom Luleå tekniska Universitet två industriföretag i Sverige. För att dessa företag fortsatt ska kunna verka inom Sverige och internationellt krävs en ständig utveckling av deras produkter vilket detta projekt har bidragit till att åstadkomma.
- *Medverka till en fortsatt konkurrenskraftig fordonsindustri i Sverige*
Projektet har bidragit till en utveckling av produkter hos partnerföretagen (Smörjmedel och fyrhjulsdriftssystem) som är nödvändig för att produkterna ska fortsätta hålla en konkurrenskraftig hög nivå.
- *Leda till industriell teknik- och kompetensutveckling*
Genom arbetet i projektet har deltagande industri fått bättre kunskap om tekniken bakom sina produkter. Denna kompetenshöjning på företagen är av yttersta vikt för att de i fortsättningen ska kunna tillverka konkurrenskraftiga produkter.
- *Bidra till tryggad sysselsättning, tillväxt och stärkt FoU-verksamhet*
Den ökade konkurrenskraft som partnerföretagens produkter har fått i och med detta projekt, samt den kompetensutveckling som har skett hos företagen anses vara av yttersta vikt för företagen ska fortsätta hålla den höga standard som krävs för att fortsätta existera i en hårdnande internationell konkurrens inom fordonsindustrin.
- *Medverka till att konkreta produktionsförbättringar görs hos deltagande företag*
Den utvecklade åldringsmodellen som har implementerats i några av BorgWarner TransferSystems kunders AWD-system ansågs vara en av anledningarna till att dessa företag valde BorgWarner som leverantör av kopplingen till deras AWD-system.
- *Stödja forsknings- och innovationsmiljöer*
Universitetet som deltagit i projektet, Luleå tekniska universitet, är en av Europas mest erfarna forskningsgrupp gällande våta kopplingar. En stor anledning till detta är de forskningsprojekt som har genomförts med medel från FFI (tidigare PFF) i samverkan med Haldex Traction (Nuvarande BorgWarner) och Statoil. Detta projekt har fortsatt stödja forskningsgruppen som därmed har lyckats stärka sin ledande position inom forskning på våta kopplingar ytterligare.
- *Verka för att ny kunskap tas fram och implementeras, samt att befintlig kunskap implementeras i industriella tillämpningar*
Den inom projektet utvecklade åldringsmodellen har som tidigare nämnts redan implementerats i några av BorgWarner TransferSystems kunders AWD-system och finns således snart ute på marknaden.

- *Stärka samverkan mellan fordonsindustrin och myndigheter, universitet, högskolor och forskningsinstitut*

Detta projekt har ytterligare stärkt banden mellan de två industripartners i projektet och Luleå tekniska universitet. Diskussioner har redan inletts om att starta upp ytterligare ett forskningsprojekt som då kommer att bli det fjärde 5-åriga forskningsprojektet i ordningen.

6. Spridning och publicering

6.1 Kunskaps- och resultatspridning

Projektresultat har dels delats mellan olika våt kopplings-forskningsprojekt på universitetet och även används i undervisningen av framtidens civilingenjörer i maskinteknik, bl.a. i kursen ”Avancerade maskinelement”

6.2 Publikationer

Berglund, K, ‘Predicting wet clutch service life performance, Doktorsavhandling Luleå tekniska universitet, 2013

Berglund, K, Marklund, P, Larsson, R & Lundh, H ‘Predicting driveline vibrations caused by ageing limited slip differentials’, To be submitted for publication, Ingår i doktorsavhandlingen.

Berglund, K, Marklund, P, Larsson, R & Olsson, R , ‘Predicting boundary friction of ageing limited slip differentials’, Submitted for publication 2013-11-08, Journal of Engineering Tribology, Ingår i doktorsavhandlingen.

Berglund, K, Marklund, P, Larsson, R & Olsson, R ‘Evaluating lifetime performance of limited slip differentials’, Lubrication Science, 2013, Article in press. Ingår i doktorsavhandlingen.

Berglund, K ‘Sustainable performance of wet clutch systems’ Licentiatavhandling Luleå tekniska universitet, 2010

Berglund, K, Marklund, P & Larsson, R 2010, 'Lubricant ageing effects on the friction characteristics of wet clutches', Institution of Mechanical Engineers. Proceedings. Part J: Journal of Engineering Tribology, vol 224, nr 7, s. 639-647. Ingår i doktorsavhandlingen.

Berglund, K, Marklund, P, Larsson, R, Pach, M & Olsson, R 2010, 'Wet clutch degradation monitored by lubricant analysis', S A E Technical Papers, nr 2010-01-2232. Ingår i doktorsavhandlingen.

Marklund, P. 2010 'Permeability measurements of sintered and paper based friction materials for wet clutches and brakes.' S A E Technical Papers no: 2010-01-2229. 8 s.

7. Slutsatser och fortsatt forskning

Projektet har gett en stor ökning i förståelsen för hur våta kopplingssystem åldras i verkliga applikationer. Arbetet i projektet har bestått dels av mätningar i laboration såväl som i fordonstester samt modelleringsarbete som innebär att det nu är möjligt att simulera åldringen i ett våtkopplings-system för en föreslagen körsekvens. Resultaten har blivit så bra åldringsmodellen redan i nuläget har implementerats i delar av BorgWarner TransferSystems kopplingar till AWD-system.

Detta projekt är det tredje 5-åriga större forskningsprojekt (detta tredje uppdelat i våta kopplingars livslängd I och II) i ordningen av samarbetet mellan Luleå tekniska universitet och BorgWarner (tidigare Haldex Traction) och Statoil. Forskningen inom forskningsområdet Våta kopplingar är en stor verksamhet vid Luleå tekniska universitet (LTU) där kontinuerligt flera projekt genomförs i samarbete med olika fordonsföretag i Sverige. LTU planerar att fortsätta arbeta inom detta forskningsområde och kommer i framtiden att föra diskussioner med partnerföretagen i detta projekt om att inleda ett fjärde större projekt inom våta kopplingar.

8. Deltagande parter och kontaktpersoner

BorgWarner Torque Transfer Systems

Jonas Jönsson
JJonsson@borgwarner.com
+46 418 476634



Statoil Fuel and Retail

Thomas Norrby
STNB@statoilfuelretail.com
+46 8 4296803



Luleå tekniska universitet

Pär Marklund
Par.marklund@ltu.se
+46 920 492415



FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

FFI

FORDONSSTRATEGISK
FORSKNING OCH INNOVATION

Adress: FFI/VINNOVA, 101 58 STOCKHOLM
Besöksadress: VINNOVA, Mäster Samuelsgatan 56, 101 58 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 473 30 00