

# Energilager i snabbladdningsstationer för elfordon

En uppföljning av ett examensarbete efter 23 år



---

**Ingemar Pålsson**

Division of Industrial Electrical Engineering and Automation  
Faculty of Engineering, Lund University

# **Energilager i snabbladdningsstationer för elfordon**

**En uppföljning av ett examensarbete efter 23 år**

2015 06 07

Ingemar Pålsson

Handledare: Bengt Simonsson

# Sammanfattning

Det här kompletterande examensarbetet är en fortsättning på ett examensarbete som utfördes av Markus Florentzson och Ingemar Pålsson vid LTH 1993.

Arbetet behandlar energilagring för att stabilisera elnätet vid belastning från snabbbladdningsstationer för elbilar. Ett ämne som är betydligt mer aktuellt idag.

Detta, nu 23 år gamla, arbete jämförs med den observerade utvecklingen inom området sedan dess och framtida möjligheter studeras.

Resultaten från det gamla examensarbetet visar sig förvånansvärt aktuella och utvecklingen har i flera fall visat sig stämma väl med förslagen från 1993. Bland annat har det installerats anläggningar för nätstabilisering som är påfallande lika de som projekterades i examensarbetet.

Bifogat finns även ett patent av författaren som skulle kunna utnyttjas inom området.

# Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	ii
Introduktion.....	1
Vad har hänt sedan 1993.....	2
Utvecklingen av elbilsflottan sedan det ursprungliga examensarbetet.....	2
Hur har antagandena från -92 stått sig?.....	3
Standardisering av anslutning till bil.....	4
Laddeffekt och påverkan på elnätet.....	4
Andra sätt att lagra energi för utjämning av nätbelastningen.....	5
Pumpkraftverk (Pumped Hydroelectric Storage, PHS).....	5
Jordövertäckt hydrauliskt lager på plan mark.....	6
Tryckluft (Compressed Air Energy Storage, CAES).....	6
Tågagnar uppför berg.....	11
Värmelagring i sand.....	12
Batterier.....	12
Kommersiellt installerade svänghjulsbaserade energilager.....	13
KERS, svänghjulsbaserade energilager i F1 bilar.....	15
Framtida utvecklingspotential för svänghjulsbaserad energilagring.....	16
Referenser.....	17
Bilaga 1, Patentskrift.....	19

# Introduktion

När det ursprungliga examensarbetet (Florentzson & Pålsson 1992) gjordes, var elbilar en udda företeelse. Utvecklingen av batterierna för att minska vikten och framför allt kostnaden, har varit, och är alltjämt mödosam. Som så ofta är fallet har därför det kommersiella genombrottet tenderat att ständigt ligga tio år in i framtiden.

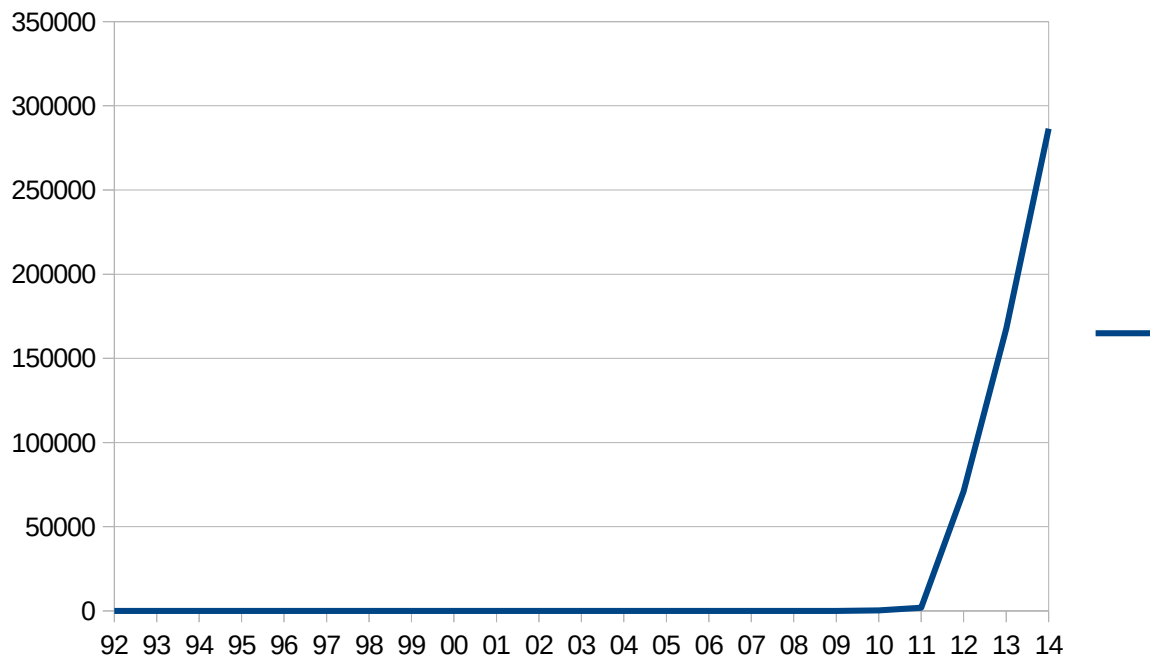
Nu 23 år senare har ju emellertid verkligheten börjat komma ifatt denna profetia och det finns inte bara kommersiellt tillgängliga elbilar från ett antal tillverkare, utan även en efterfrågan på snabbladdningsstationer (Charlotta von Schultz 2014).

Denna rapport avser att överblicka utvecklingen inom energilager för utjämning av nätbelastning. Examensarbetet från -92 jämförs med det nuvarande utvecklingsläget och framtida möjligheter och likheter och avvikelser analyseras.

Uppgifter om nuvarande teknik hämtas från företagshemsidor, tekniska rapporter och artiklar, samt patenthandlingar.

## Vad har hänt sedan 1993

Utvecklingen av elbilsflottan sedan det ursprungliga examensarbetet



*Illustration 1 Ackumulerad försäljning av plug-in elbilar i USA*

Genom att t ex studera den ackumulerade försäljningen av elbilar i USA , inser man tydligt vad som håller på att hända nu. Och vad som INTE hände mellan 1992 och 2010. Examensarbetet från -92 kan väl på detta sätt sägas ha varit tjugo år före sin tid.

## Hur har antagandena från -92 stått sig?

I det ursprungliga examensarbetet gjordes en del antaganden om hur snabbbladdningen skulle gå till. Bl a antogs att:

- 100 tankningar per dygn skulle hanteras av det energilager som dimensionerades
- Högst två fordon åt gången
- Varje fordon antogs ha ett tankningsbehov på 90 MJ
- En snabbbladdning antogs ta 8 minuter
- $\Rightarrow$  187,5 respektive 375 kW effekt vid laddning av ett respektive två fordon samtidigt

Utifrån bl a dessa antaganden och samplad data från elnätet, simulerades nätbelastningen och en lämplig storlek på energilager togs fram.

Detta kan jämföras med batterikapaciteten som uppges av tillverkarna av några idag kommersiellt tillgängliga elbilar

- Tesla Model S, 85 kWh
- VW e-Golf, 24 kWh
- Nissan Leaf, 22 kWh
- BMW i3, 18,8 kWh
- Mitsubishi i-MiEV, 16 kWh
- Chevrolet Volt (plug in hybrid), 8 kWh

Efter omräkning till SI-enhet blir detta:

- 306 MJ
- 86,4 MJ
- 79,2 MJ
- 67,7 MJ
- 57,6 MJ
- 28,8 MJ

Tesla utmärker sig här genom att ha avsevärt större batteripaket än alla andra tillverkare.

Det antagna tankningsbehovet på 90 MJ kan tänkas motsvara en total batterikapacitet på  $90/0,8=112,5$  MJ. Om man avser en snabbbladdning av 80% av total kapacitet.

Med tanke på att samtliga fordon knappast är helt urladdade när de anländer till snabbbladdningsstationen, så kan kapaciteten anses motsvara en ytterligare högre nominell kapacitet på fordonens batterier.

Totalt sett får det antagna värdet anses stämma ganska väl med den situation som nu börjar uppstå.

## Standardisering av anslutning till bil

Ett problem som var aktuellt redan -92 men som inte lösts är standardisering av kontaktdon, spänningsnivåer mm. Istället finns nu huvudsakligen två konkurrerande standarder:

- CHAdeMO (Nissan, Mitsubishi, och Toyota)
- SAE-standarden, J1772 (Tesla, GM, Ford, Volkswagen och BMW )

Motivationen för detta sägs vara att den japanska CHAdeMO-standarden, med både AC och en separat DC-anslutning anses alltför dyr. J1772 är en kombinerad AC och DC-anslutning (Ross, C. 2014).

Denna slags politiska frågor är dock utanför detta arbetes omfång.

## Laddeffekt och påverkan på elnätet

Tiden för laddningen är den centrala utmaningen. Speciellt med tanke på att en jämförelse med bränsle drivna fordon är ofrånkomlig. Snabbbladdning innebär hög effekt, så hög att det kan medföra stora konsekvenser för det lokala elnätet. Därav ämnet för examensarbetet -92.

För att kunna sälja sina bilar, driver biltillverkarna nu utvecklingen av snabbbladdningsutrustning. En DC-laddningsstation ger idag ca typiskt ca 50 kW. De ”superchargers” som Tesla bygger upp runt om i världen, laddar däremot med 120 kW per bil. Jämförbart t ex med den typiska eleffektförbrukningen hos 120 hushåll i Kalifornien (Bergman, S. 2014).

Därmed närmar sig Tesla den effekt på 187,5 kW som antogs i examensarbetet -92.

Vid en presskonferens i samband med visningen av en ny bränslecellsbil, hävdade nyligen Toyotas Chefsingenjör, Yoshikazu Tanaka, att påverkan på elnätet från snabbbladdningsstationer, skulle göra en expansion av elbilar omöjlig (Kim, C. 2015).

Toyota vill naturligtvis sälja bränslecells bilar, men har också gjort en bedömning när de valde att satsa på detta istället för elbilar.

Idag har ju situationen dessutom förvärrats genom introduktionen av intermittenta energikällor som solceller och vindkraftverk.



## Andra sätt att lagra energi för utjämning av nätbelastningen

Examensarbetet -92 gick igenom grundläggande fysikaliska principer för energilagring. Och jämförde sedan användbara tekniker utifrån detta. Varefter två alternativ undersöktes närmare (batterilager och svänghjul)

Det har även föreslagits en del nya och nygamla varianter på energilager sedan dess. Framför allt sporrat av behoven som uppstår när fler och fler nya och inte styrbara elkällor, som sol och vind, ska kopplas in på elnätet. En undersökning av etablerade och föreslagna tekniker ger både intressanta uppslag och har ibland ett inte förkastligt inslag av ingenjörsmässigt underhållningsvärde..

### Pumpkraftverk (Pumped Hydroelectric Storage, PHS)

Detta får väl anses vara referensen för energilager i elnätet. Ett vattenkraftverk med möjlighet att pumpa vattnet tillbaka upp i reservoaren när tillgången på energi överstiger konsumtionen. Ingående teknik är i princip etablerad sedan över hundra år, varför tillgängligheten blir god.

Verkningsgraden kan enligt industrin närma sig 85% (Voith GmbH 2015).

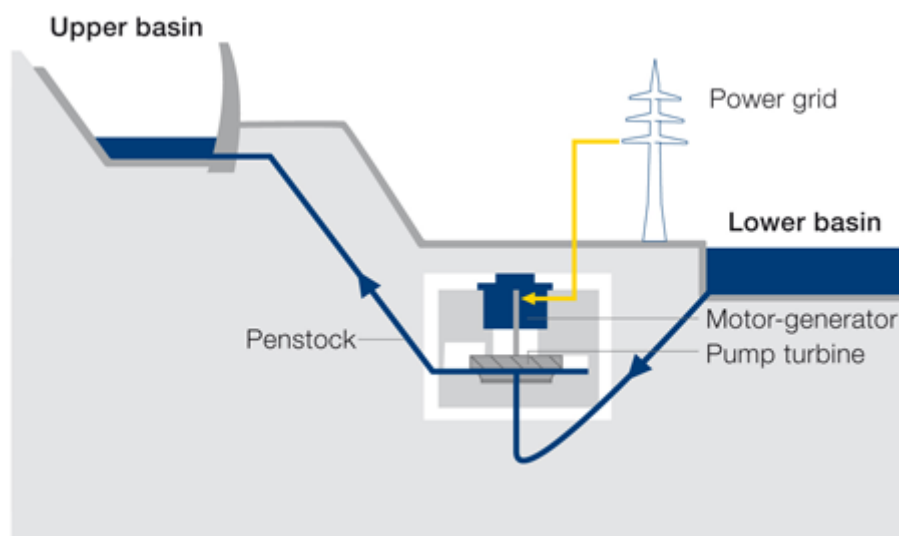


Illustration 2: Principskiss för pumpkraftverk (Voith GmbH 2015)

Både effekt- och energikapacitet kan enkelt skalas upp ur tekniskt perspektiv. Begränsningen ligger istället i tillgången på lämpliga placeringar. Det krävs naturligtvis höga fallhöjder och/eller stora landområden för vattendammar. Samma miljöhänsyn som driver fram vind- och solkraft. Ställer allt högre krav som försvårar ytterligare utbyggnad och reglering av vattenreservoarer.

Sett till befintliga installationer för energilagring så utgjorde pumpkraftverk med en total installerad effekt av ca 128 GW ungefär 99% av världens samlade effekt från energilager år 2012 (Luo, X. et al 2014).

## Jordövertäckt hydrauliskt lager på plan mark

Vad gör man då när man inte har fallhöjder lämpliga för pumpkraftverk?

I Danmark där vindkraften står för allt större andel av elförsörjningen, är behovet av reglerkraft stort men bergen få.. Man experimenterar därför med pumpkraftverk där höjdskillnaden ersatts av att vattnet pumpas ner under ett membran som grävts ner i marken och täckts med stora mängder *jord* (Krøjer, K. 2011). Jorden ska sedan i viss mån åter kunna brukas, men kommer naturligtvis att höjas och sänkas allteftersom vatten pressas in i eller tappas ur inneslutningen.

## Tryckluft (Compressed Air Energy Storage, CAES)

Trots problemen med verkningsgradsförluster, främst p g a värmeavgång från den under kompressionsfasen uppvärmda luften, arbetas det på denna metod.

Den allmänna gaslagen kan man inte komma runt, men ett alternativ kan vara att försöka tillvarata och utnyttja den avgivna värmet för nyttiga ändamål (Godske, B. 2015b). En mer generell metod är att skilja av och lagra värmet separat för att sedan återföra den i samband med expansionsfasen (Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Stotage, AA-CAES) (Luo, X et al 2014).

Det är även viktigt att kompressorerna/motorerna har låga förluster. Det blir stora volymer arbetsmedium per energienhet jämfört med en vattenturbin/pump och utmaningen blir därmed desto större. Det förekommer både kolvkompressorer/motorer, för små installationer, såväl som radiella och axiella turbomaskiner (Luo, X. et al 2014; RWE Power 2010).

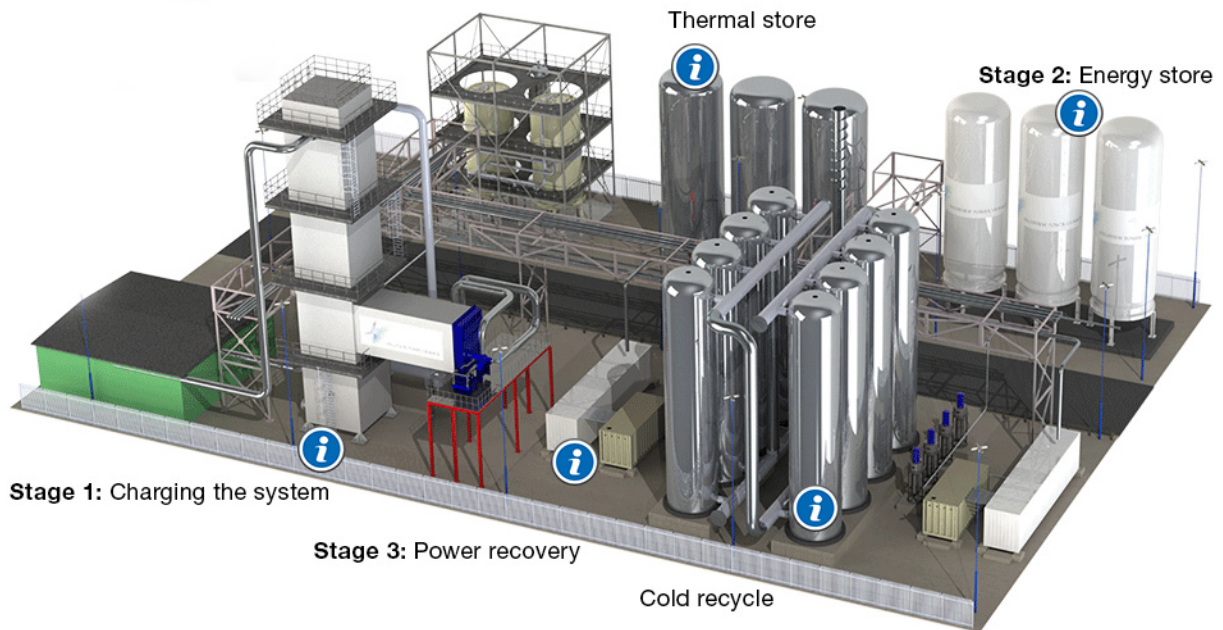
Den komprimerade luften lagras vid större anläggningar i bergrum eller naturliga håligheter i berget.

En speciell variant är att kondensera luften(huvudsakligen kvävet) för att kunna lagra det i flytande tillstånd vid atmosfärstryck, men i isolerade behållare vid -196°C.

Eftersom volymförhållandet (vid atmosfärstryck) är 700:1 mellan kväve i gas respektive vätskefas så försvinner behovet av gynnsamma förhållanden för lagring av komprimerad luft i berggrunden.

Det engelska företaget, Highway Power Storage, har byggt en pilotanläggning på 350 kW / 2.5 MWh med denna teknik. Man hävdar att alla komponenter kan hämtas från industriellt etablerade processer/tillverkare.

Värmet från kompressionen/kondenseringen lagras även här separat och återförs vid förångningen/expansionen.



*Illustration 3: Principiell skiss av energilager baserat på kondensering av luft (Highview Power Storage 2015)*

Två exempel på kommersiella CAES-anläggningar är:

- Huntorf, Tyskland

Byggt 1978 av Brown-Boveri. Anläggningen är inget rent energilager, utan turbinen är en gasturbin som matas med den lagrade, komprimerade, luften istället för att ha en egen direktkopplad kompressordel.

Kompressionen av luften sker således när det finns överskott på produktionskapacitet i elnätet. Gasturbinen kan sedan startas när behovet finns (normalt dygnscykliskt), utan att då förbruka effekt för kompressionen.

Anläggningen har en installerad effekt på 290 MW och luften lagras i två saltgrottor under området på totalt 310 000 m<sup>3</sup>.

Trycket tillåts vid drift variera mellan 4,8 och 6,6 Mpa.

Både kompressor och turbin är uppdelade i låg- och högtrycksenheter. Kompressorn har både axiella och radiella steg.

Det finns vid denna anläggning ingen värmeåtervinning, varför verkningsgraden från el till el, stannar vid 42%, när hänsyn tas till turbinens bränsleförbrukning (Crotagino, F. et al 2001; Luo, X. et al 2014; Bine Informationsdienst 2007).

- McIntosh, Alabama, USA

Byggt 1991. Effekt 110 MW. Även här lagras luften i en saltgrotta och även här är turbinen en gasturbin med bränsletillförsel. Trycket hos den lagrade luften tillåts variera mellan 4,5 och 7,4 Mpa.

Tack vare värmeåtervinning mellan gasturbinens utlopp och inlopp, får man i denna anläggning en verkningsgrad på 57%. Det finns dock inte heller här någon separat lagring av värmets från kompressionsfasen (Luo, X. et al 2014).



*Illustration 4: Lågtryckskompressorerna i Huntorfanläggningen. Notera de två radiella kompressorstegen längst bort. (Bine Informationsdienst 2007)*

Det kan vara intressant att titta lite närmre på problemet med värmeförlusterna.

Allmänna gaslagen säger:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

där:

$p$ =trycket [Pascal]

$V$ =volymen [ $m^3$ ]

$n$ =mängden molekyler [mol]

$R$ =Avogadros konstant= $8,3145 [J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}]$

$T$ =absoluta temperaturen [Kelvin]

Vid en tänkt idealiskt adiabatisk kompression gäller dessutom:

$$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$$

där:

$\gamma = c_p / c_v \approx 1,4$  (för torr luft)

Man får då:

$$V_2 / V_1 = 1 / (P_2 / P_1)^{1/\gamma}$$

Ur allmänna gaslagen fås då:

$$T_2 = T_1 \cdot (P_2 / P_1)^{(\gamma - 1)/\gamma} = T_1 \cdot (P_2 / P_1)^{0,29}$$

Vid en kompression från atmosfärstryck (ca 0,1 MPa) till 7 Mpa och en starttemperatur på 293 K (20 °C) får man då:

$$T_2 = 293 \cdot (7\,000\,000 / 100\,000)^{0,29} \approx 1000 \text{ K} \approx 730 \text{ °C}$$

Att lagra luften någon längre tid vid denna temperatur utan betydande värmeförluster är knappast praktiskt genomförbart. Att istället försöka komprimera luften isotermiskt genom att dela upp kompressionen i mindre steg med kylning mellan varje steg, leder till en väldigt komplex anläggning.

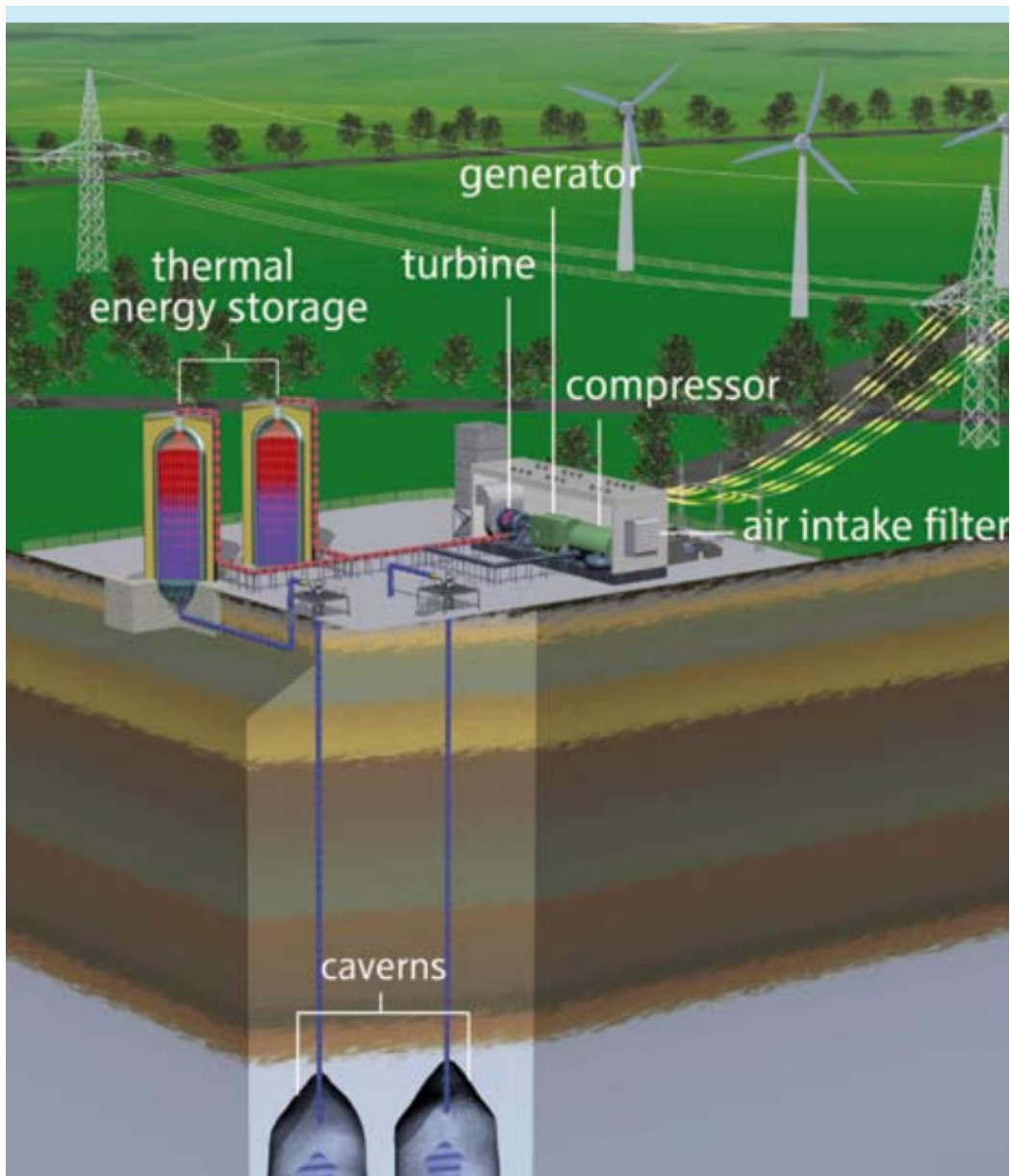
Därför försöken med att avskilja värmets och lagra det separat i ett medium med högre specifik värmekapacitet.

I Tyskland driver man ett projekt (ADELE) efter denna princip.

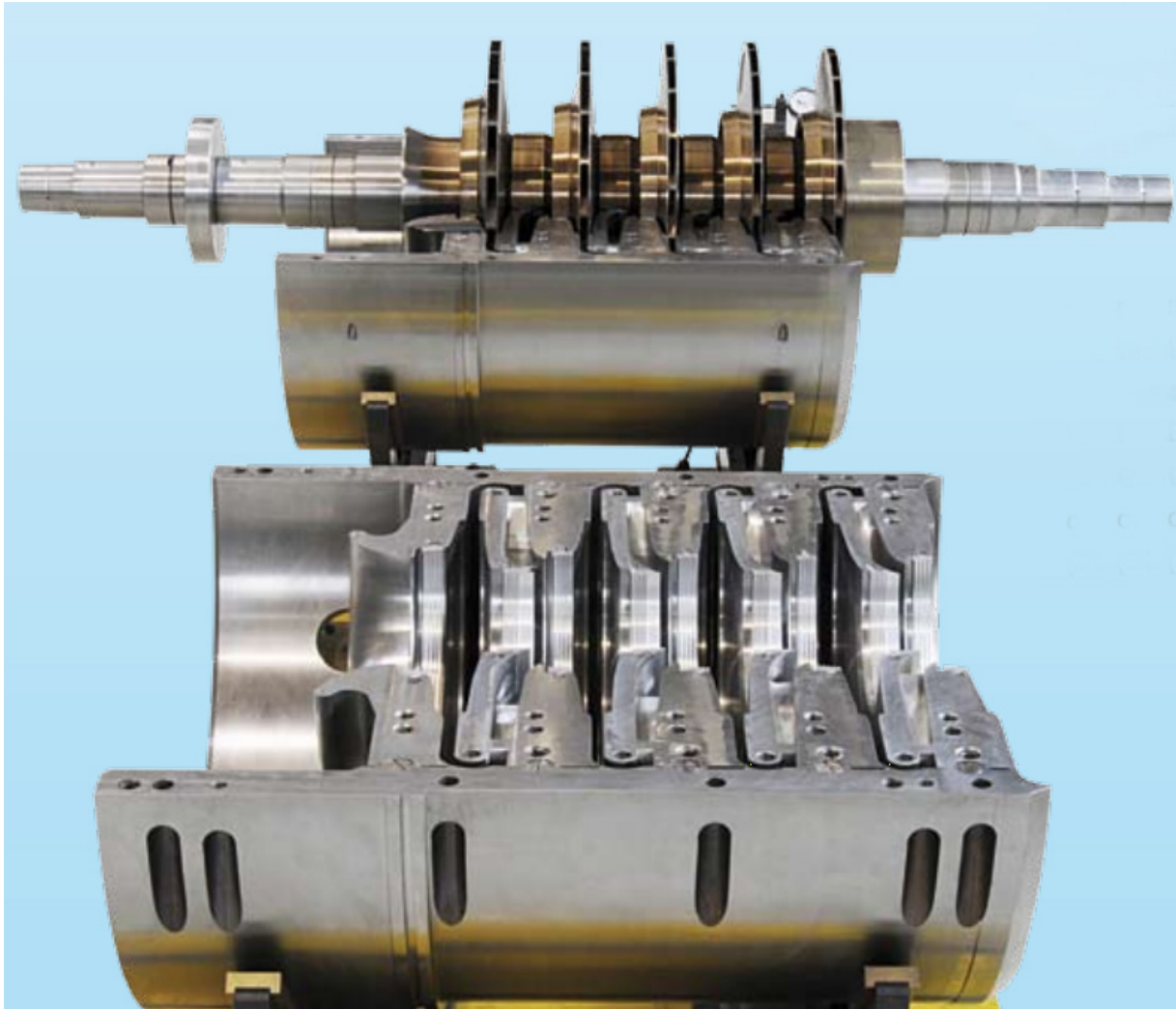
Målet är att komma upp mot 70% verkningsgrad i en anläggning som kan lagra 1000 MWh (3600 MJ)

Värmet ska lagras i isolerade cisterner, fyllda med sten/keramiska element. Luften passerar cisternerna som fungerar som värmeväxlare och värmelager. Sedan lagras den komprimerade, avkylda, luften i saltgrottor tills processen ska vändas.

Man tänker sig att arbeta med trycknivåer uppemot 10 Mpa (RWE Power 2010).



*Illustration 5: Principskiss över ADELE-projektet (RWE Power 2010)*



*Illustration 6: Experimentell radiell turbokompressor för energilagring med komprimerad luft i ADELE-projektet (RWE Power 2010)*

## **Tågagnar uppför berg**

Ett företag i USA har gjort en pilotanläggning där betongbarlastade, eldrivna rälsfordon kör uppför ett berg och sedan återför energin till elnätet när de åker ner igen. Konceptet ska nu byggas i större skala (ARES 2015).

## Värmelagring i sand

En annan idé från vindkraftlandet Danmark där en ingenjör på Siemens (Henrik Stiesdal) föreslår att man ska producera värme (600 °C) med luftbaserad värmepump och lagra värmen i ett gigantiskt sand eller flygaskemagasin. Energin tas sedan ut igen genom att driva en turbin. Eftersom värmelagret är så stort, kan värmeförlusternas påverkan på verkningsgraden hållas på en rimlig nivå (Wittrup, S. 2014).

## Batterier

I takt med att batterier utvecklas och tillverkas i allt större volymer för elbilar, ökar naturligtvis möjligheten att även använda dessa som energibuffert i elnätet. Trots problemet med livslängden och kostnaden förknippad med detta så kan ökande volymer och nya batterityper eventuellt göra att detta blir ett dominerande alternativ.

Tesla vill ju t ex gärna få upp volymerna på sina batterier för att kapa kostnaderna. Och har nyligen presenterat ett uppmärksammat batterilager för hembruk (Tesla 2015). Ett kinesiskt solcellsbolag, Trina solar, presenterade kort därefter en liknande produkt (Dagens Industri 2015).

Tesla uppger bl a följande data för sina batterilager:

- *Models* 10 kWh \$3,500 For backup applications 7 kWh \$3,000 For daily cycle applications
- *Warranty* 10 years
- *Efficiency* 92% round-trip DC efficiency
- *Power* 2.0 kW continuous, 3.3 kW peak

Om man gör en snabb beräkning där man antar att hela den angivna kapaciteten omsätts varje dag, under den garanterade livslängden så får man följande:

$$7 \cdot 365 \cdot 10 \cdot 0,92 = 23\,506 \text{ kWh}$$

Med det angivna priset på 3 000 \$ så blir omkostnaden per kWh följande:

$$3\,000 / 23\,506 = 0,13 \$ \approx 1 \text{ kr} / \text{kWh}$$

Det krävs således tillgång på väldigt billig, om än intermittent, el för att ett sådant energilager ska bära sig ekonomiskt.



## Kommersiellt installerade svänghjulsbaserade energilager

Den huvudsakliga slutsatsen i examensarbetet -92 var att ett energilager baserat på svänghjul var att föredra för applikationen framför batterilager eller andra lösningar. Man analyserade även hållfasthet, aerodynamiska förluster och axellagringarnas utförande. Det är därför intressant att undersöka om det realiserats några energilager med denna teknik sedan dess.

Den amerikanska företaget Beacon Power har utvecklat ett system för utjämning av nätbelastning med kolfibersvänghjul (Beacon Power 2015).



*Illustration 7: Kluster av svänghjulsenheter (Beacon Power)*

Man använder svänghjul i kolfiberkomposit, lindade på en ihålig stålkärna, där både axellagring och elmaskin ryms. Svänghjulen är monterade i en vakuumevakuerade behållare och är anslutna via en kraftelektronikenhet till elnätet. Varje svänghjul har en energikapacitet på MJ och har en maximal effekt på 160 kW. För att kyla den i vakuuminneslutningen placerade elmaskinen, är den ansluten till ett kylaggregat bredvid enheten.

Man har patenterat en metod att kombinera fibrer med olika E-modul, densitet och hållfasthet. På olika radier i kompositsvänghjulet (US patent: CA 2458618 C)

Utvecklingen av permanentmagneter har varit avsevärd sedan det ursprungliga examensarbetet. Således kan man använda permanentmagneter för att minska effektbehovet för lyftmagneterna i lagringen. Vid normal drift är svänghjulet helt magnetiskt lagrat, men det finns mekaniska rullager som säkerhetslager.

Dessa rullager är magnetiskt avlastade på samma sätt som togs fram i det ursprungliga

examensarbetet! En fördel med detta sägs vara att smörjbehovet för de i vakuum arbetande lagren minskar. (Vid arbetet med det ursprungliga examensarbetet, konstaterade vi dock att det finns smörjmedel med ursprung i rymdindustrin som är lämpliga för ändamålet, om än dyra)

Man har ett patent som beskriver detta och andra aspekter av magnetlagringen (US patent: CA 2689226 A1).



*Illustration 8: Svänghjulsenhet från Beacon Power*

Man har kommersiellt installerat anläggningar i USA sedan några år och nu planeras en anläggning i Irland (Godske, B. 2015a och Schwungrad Energie 2015).

## KERS, svänghjulsbaserade energilager i F1 bilar



*Illustration 9: Raymond Mays studerar energin i ett hjul*

Inför 2009 års säsong intruderade FIA (Federation Internationale de l'Automobile) nya regler som tillät F1-bilarna att ha ett svänghjulsbaserat energilager, KERS (Kinetic Energy Recovery System). Fördelarna var möjligheten att regenerera bromsenergi för användning som extra effektresurs vid lämpligt tillfälle.

Biltävlingar kan tyckas vara en udda företeelse, men industrin runt F1-verksamheten har en förbluffande omfattning. Bara i England sysselsätter ca 4300 företag omkring 41000 människor (Monaghan, A. 2014). Det kan därför vara intressant att följa utvecklingen här. Som så ofta tidigare har även teknik utvecklats här sipprat ut till den "civila" bilindustrin.

Regelverket tillåter att maximalt 4 MJ lagras i enheten. Effektuttaget tilläts ursprungligen uppgå till 60 kW vilket inför 2014 års säsong fördubblades till 120 kW.

Således kan all den lagrade energin tas ut på:  $4\,000\,000/120\,000=33$  s.

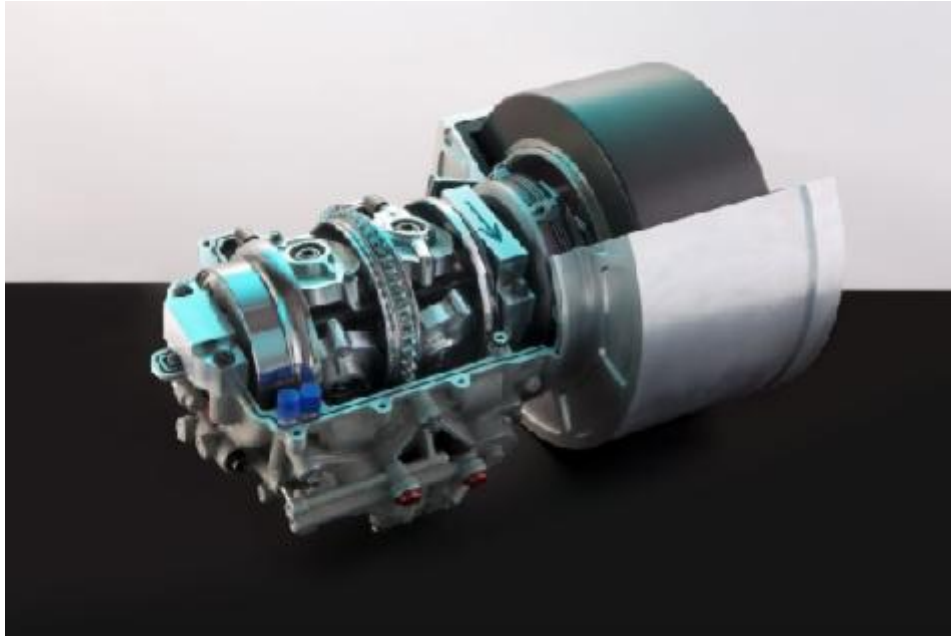
En sådan urladdningstid utesluter batterier, men superkondensatorer har använts i F1-sammanhang.

Svänghjul i sig tillåter ju däremot väldigt höga effektuttag. Begränsningen ligger här i överföringen mellan det höga och varierande varvtalet hos svänghjulet och till drivlinans (också varierande) varvtal.

Med elmaskiner krävs två maskiner som omväxlande fungerar omväxlande som motor och generator. Sammankopplade med kraftelektronik. Bilarna drivs ju normalt av förbränningsmotorer och det finns ingen befintlig elmotor att skicka effekten till.

Detta i kombination med de mycket höga kraven på hög effekt i förhållande till den totala massan hos systemet, har gjort att man förutom denna lösning tagit fram helt mekaniska varianter. Dessa kräver å andra sidan en axelgenomföring in till det i vakuum roterande svänghjulet.

Den enhet som användes när systemet introducerades hade en CVT (Continuously Variable Transmission, steglöst variabel växellåda) från Torotrak (Flybrid Systems 2015).



*Illustration 10: KERS enhet för F1-bilar med CVT (Flybrid Systems)*

Med tanke på att systemets effekt/mass-förhållande var av så stor betydelse, hade det kanske varit bättre att utgå från den steglöst variabla växellåda med excentriskt placerade lamellpaket som författaren till denna rapport tog fram vid ungefär samma tid (bilaga 1).

Själva svänghjulet i Flybrid Systems, KERS-enhet har en metallkärna, omspunnen av kolfiberkomposit. Hela enheten har testats för att inte utgöra någon fara vid ett haveri (Flybrid Systems 2015).

## **Framtida utvecklingspotential för svänghjulsbaserad energilagring**

Mycket resurser läggs idag på att utveckla batteritekniker, men det händer ju mycket även inom materialforskning.

I jämförelse med ett blybatteri har ett Litium-jonbatteri ca 3-4ggr större lagringskapacitet per kg. Samtidigt är livslängden fortfarande ett stort problem (Albright, G. et. al. 2012).

Som visats i det ursprungliga examensarbetet, är energilagringens förmågan i ett svänghjul direkt proportionell mot materialets hållfasthet.

Om man då tittar på ett svänghjul i kolfiberkomposit med en draghållfasthet på ca 1,5 Gpa, så kan detta jämföras med att kolnanorör har en teoretisk draghållfasthet på 150 Gpa (Rodney S. et. al. 2003)

## Referenser

Albright, G. Edie, J. Al-Hallaj, S. (2012) *A comparison of lead acid to lithium-ion in stationary storage applications*. artikel i altenergymag.com 2012 12 04

ARES (2015) Hemsida <http://www.aresnorthamerica.com/>

Beacon Power. (2015) Hemsida. Beaconpower.com

Bergmann, S. *Supercharging More Electric Cars Risks Crashing the Grid—Here's What Might Help* artikel i California magazine 2014

Bine Informationsdienst (2007) Onlinepublikation *Druckluftspeicher-Kraftwerke* <http://www.bine.info/publikationen/publikation/druckluftspeicher-kraftwerke/> [2015 06 06]

Charlotta von Schultz Ny Teknik (2014) *Bristen på laddstationer bromsar elbilen* [http://www.nyteknik.se/nyheter/fordon\\_motor/bilar/elbil/article3820957.ece](http://www.nyteknik.se/nyheter/fordon_motor/bilar/elbil/article3820957.ece)

Crotogino, F. & Mohmeyer, K-U & Scharf, R. (2001) *Huntorf CAES: More than 20 Years of Successful Operation* KBB GmbH, Hannover ; E.ON Kraftwerke Bremen, Tyskland

Dagens Industri (2015) artikel på di.se: *Tesla får konkurrens av världens största solpanelbolag publicerad* 2015-05-23, nedladdad 2015 06 07

Florentzson, M. & Pålsson, I. (1992). *Energy storage in rapid charge stations for electric vehicles/Energilager i snabbladdningsstationer för elfordon*. Examensarbete, maskinteknik, LTH. Lund: LTH

Flybrid systems (2015) Hemsida <http://www.flybridsystems.com>

Godske, B. (2015a) Artikel i ingeniøren 2015 05 27 *svinghjul gemmer på strømmen*

Godske, B. (2015b) Artikel i ingeniøren 2015 05 29 *El ska da lagres med trykluft*

Highview Power Storage (2015) hemsida: <http://www.highview-power.com/> [2015 06 06]

Kim C. (2015) *Electric cars won't spread even with rapid chargers: Toyota engineer*. Artikel Reuters 2015 04 16

Krøjer, K. (2011) Artikel i ingeniøren 2011 06 27 *Dansk energilager skal løfte 12.000 ton jord i døgnet*

Luo, X. Wang, J. Dooner, M. Clarke, J. Krupke, C. (2014) *Overview of current development in compressed air energy storage technology* School of engineering, The university of Warwick, Coventry, UK

Monaghan, A. (2014) *UK in pole position to benefit from F1 engineering skills*, artikel i the Guardian 2014 03 09

Rodney S. Ruoff a, Dong Qian b , Wing Kam Liu a (2003) *Mechanical properties of carbon nanotubes: theoretical predictions and experimental measurements*, Académie des sciences

Ross, C (2014) artikel i Electrical Contractor *EV Charging Goes Public*

RWE Power (2010) broschyr över ADELE-projektet,  
<http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/en/391748/data/364260/1/rwe-power-ag/innovations/Brochure-ADELE.pdf>

Schwungrad Energie 2015, hemsida: <http://schwungrad-energie.com>

Tesla (2015) Hemsida <http://www.teslamotors.com/>

Voith GmbH (2015) hemsida: <http://www.voith.com/en/markets-industries/industries/hydro-power/pumped-storage-plants-541.html>

Wittrup, S. (2014) Artikel i ingeniøren 2014 11 29 *Siemens vil lagre strøm i kæmpe sandbunker*

# Bilaga 1, Patentskrift



(12) Patentskrift

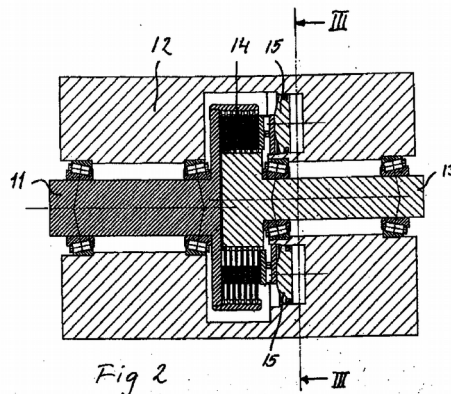
(10) SE 530 312 C2

(21) Patentansökningsnummer: 0700808-9  
(45) Patent meddelat: 2008-04-29  
(41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2008-03-21  
(22) Patentansökan inkom: 2007-04-02  
(24) Löpdag: 2007-04-02  
(83) Deposition av mikroorganism: ---  
(30) Prioritetsuppgifter: 2006-09-20 SE 0601932-7

(51) Internationell klass:  
*F16D 43/21* (2006.01)  
*B60K 17/02* (2006.01)  
*B60K 17/35* (2006.01)  
*F16D 25/0638* (2006.01)  
*F16D 7/02* (2006.01)

- (73) Patenthavare: Haldex Traction AB, Box 505, 261 24 Landskrona SE  
(72) Uppfinnare: Ingemar Pålsson, Lund SE  
Lars Severinsson, Hishult SE  
Per-Olof Davidsson, Limhamn SE  
(74) Ombud: Ström & Gulliksson AB  
(54) Benämning: Slirkopplingsarrangemang  
(56) Anförda publikationer: ---  
(47) Sammandrag:

Ett slirkopplingsarrangemang för ett landsvägsfordon har en ingående axel (11), en utgående axel (13), omväxlande kopplingsplattor (14) anslutna till de två axlarna samt aktuatorer (15) för att bringa kopplingsplattorna i ingrepp. De två axlarna (11, 13) är excentriska i förhållande till varandra men parallella, och aktuatorerna (15) är så positionerade i förhållande till kopplingsplattorna (14) att en önskad uppväxling eller nedväxling mellan de två axlarna erhålles vid kopplingsingrepp med hjälp av valda aktuatorer.



**SAMMANDRAG**

Ett slirkopplingsarrangemang för ett landsvägsfordon har en ingående axel  
5 (11), en utgående axel (13), omväxlande kopplingsplattor (14) anslutna till de två  
axlarna samt aktuatorer (15) för att bringa kopplingsplattorna i ingrepp. De två axlarna  
(11, 13) är excentriska i förhållande till varandra men parallella, och aktuatorerna (15)  
är så positionerade i förhållande till kopplingsplattorna (14) att en önskad uppväxling  
eller nedväxling mellan de två axlarna erhålles vid kopplingsingrepp med hjälp av valda  
10 aktuatorer.



5

**Tekniskt område**

Föreliggande uppfinning avser ett slirkopplingsarrangemang för ett landsvägsfordon, vilket arrangemang har en ingående axel, en utgående axel, omväxlande kopplingsplattor anslutna till de två axlarna samt aktuatorer för att bringa kopplingsplattorna i ingrepp.

**Uppfinningens bakgrund**

Hos ett landsvägsfordon är det fördelaktigt att kunna fritt fördela drivmomentet till olika hjul för att förbättra fordonets köregenskaper.

Slirkopplingsarrangemang ("limited slip clutch arrangements") av det ovan angivna slaget kan användas för att fördela kraften mellan de främre och bakre axlarna hos fyrhjulsdrivna fordon eller mellan drivhjul på samma axel.

Om en drivaxel eller ett drivhjul skall ges ett positivt moment i en viss situation, kan ett sådant slirkopplingsarrangemang kompletteras med en mekanisk växelanordning för att växla upp eller öka den utgående rotationshastigheten från slirkopplingsarrangemanget med exempelvis 10%.

Många exempel på sådana mekaniska uppväxlingsanordningar visas exempelvis i EP-B-0 546 733.

Problem med sådana mekaniska uppväxlingsanordningar är exempelvis kostnader, utrymmeskrav och vikt.

Huvudändamålet med uppfinningen är sålunda att uppnå den önskade uppväxlingen eller rotationshastighetsökningen i ett slirkopplingsarrangemang på ett billigare och mer utrymmes- och vikteffektivt sätt.

**Uppfinningen**

Detta uppnås enligt uppfinningen genom att de två axlarna är excentriska i förhållande till varandra – men parallella – och att aktuatorerna är så positionerade i förhållande till kopplingsplattorna att en önskad uppväxling eller nedväxling mellan de två axlarna erhålls vid kopplingsingrepp med hjälp av utvalda aktuatorer.

I ett arrangemang enligt uppfinningen är de två axlarna sålunda excentriska i förhållande till varandra, och vid ingrepp belastas de med respektive axlar anslutna kopplingsplattorna inte jämnt utan belastas i en mera koncentrerad zon, så att de får olika resulterande friktionsradier.

Om en fast excentricitet önskas, kan de två axlarna lagras i ett hus, som också innehåller aktuatorerna för att selektivt ansätta sin respektive kraft vid olika önskade ställen.

5 Om det å andra sidan är önskvärt att ha möjligheten att variera excentriciteten, antingen stegvis eller kontinuerligt, kan den ingående axeln vara lagrad i ett hus och den utgående axeln excentriskt lagrad i en reglertrumma, som kan vara lagrad koaxiellt med den ingående axeln, kan vara försedd med aktuatorerna och kan roteras för åstadkommande av en önskad excentricitet mellan de två axlarna.

10 Ett arrangemang enligt uppfinningen kan användas på olika sätt i ett fordon. Arrangemanget kan exempelvis vara monterat mellan de främre och bakre axlarna i ett framhjulsdrevet fordon utan centrumdifferential. Härvid kan excentriciteten vara variabel, exempelvis för att åstadkomma ett uppväxlingsförhållande av 1/1,1 eller ett utväxlingsförhållande av 1/1. Utväxlingsförhållandet 1/1 kan användas under normala drivförhållanden, medan uppväxlingsförhållandet av 1/1,1 kan användas i en 15 drivsituation där en garanterad bakaxeldrivning föredrages.

Vid ett annat exempel är ett arrangemang enligt uppfinningen monterat mellan ett kronhjul och varje drivaxel eller halvaxel hos en bakaxel utan differential. Härigenom kommer en momentfördelning mellan fram- och bakaxlarna liksom mellan högra och vänstra bakhjul att uppnås.

20 Vid ett ytterligare exempel, där en fri momentfördelning önskas mellan de två hjulen på en främre eller bakre drivaxel önskas, kan ett arrangemang enligt uppfinningen monteras mellan ett differentialhus och en drivaxel eller halvaxel hos en driven främre eller bakre axel. Fordonet kan vara med eller utan fyrhjulsdraft.

25 I fordonet måste drivaxeln vara koaxiell med differentialhuset för att överföra drivmomentet till hjulet. Detta betyder att extra åtgärder för att avlägsna excentriciteten, som orsakas av arrangemanget enligt uppfinningen, måste tas.

I ett första alternativ används ett andra kopplingsarrangemang av samma slag som arrangemanget enligt uppfinningen och anslutet därtill för att göra drivaxeln koaxiell med differentialhuset.

30 I ett andra alternativ används ett cykloväxelarrangemang anslutet till arrangemanget enligt uppfinningen för att göra drivaxeln koaxiell med differentialhuset.

#### **Kort beskrivning av ritningarna**

Uppfinningen skall beskrivas närmare nedan under hänvisning till de bifogade ritningarna, på vilka

fig 1 är en schematisk vy av en hydraulkrets för ett fyrhjulsdriftsystem enligt känd teknik,

fig 2 är en schematisk sektionsvy genom en första utföringsform av en slirkoppling enligt uppfinningen,

5 fig 3 är en sektion längs linjen III-III i fig 2,

fig 4 är en schematisk sektionsvy genom en andra utföringsform av en slirkoppling enligt uppfinningen,

fig 5 är en sektion längs linjen V-V i fig 4,

10 fig 6 är en schematisk sektionsvy genom en tredje utföringsform av en slirkoppling enligt uppfinningen,

fig 7 är en sektion längs linjen VII-VII i fig 6,

fig 8 är en sektionsvy genom en fjärde utföringsform av en slirkoppling enligt uppfinningen samt

fig 9 är en sektion längs linjen IX-IX i fig 8.

#### 15 **Detaljerad beskrivning av olika utföringsformer**

Ett enkelt allhjulsdriftsystem för ett landsvägsfordon visas i fig 1 som ett exempel på omgivningen för ett slirkopplingsarrangemang ("limited slip clutch arrangement") enligt uppfinningen. I detta system är en slirkoppling 1 insatt i ett drivtåg mellan olika drivna axlar i fordonet, företrädesvis en framaxel och en bakaxel, båda med två hjul. Alternativt kan kopplingen 1 vara införd i andra delar av fordonets drivlina, såsom kommer att diskuteras närmare nedan. Kopplingen 1 visas mycket schematiskt och är i sig känd. Den är företrädesvis en flerplattkoppling.

Kopplingen 1 kontrolleras av kolvar i hydraulcylindrar 2. Det hydraulsystem till vilket cylindrarna 2 hör kan ha följande allmänna konstruktion. Olja förs från en oljereservoar 3 till en fjäderbelastad ackumulator 4 med hjälp av en pump 5, som drivs av en elektrisk motor 6 reglerad från en ECU 7. Den trycksatta oljan från ackumulatorm 4 kan nå kopplingscylindrarna 2 via en reglerventil 8, som sätter oljans tryck under kontroll från ECU:n 7. Efter användning kan oljan föras från cylindrarna 2 tillbaka till oljereservoaren 3.

30 Konstruktionen och funktionen hos slirkopplingen 1 är konventionell i facket och beskrivs inte i detalj här; för en ytterligare beskrivning görs hänvisning exempelvis till WO-A-97/04245, där även ett mera komplext hydraulsystem visas och beskrivs.

35 Under vissa körförhållanden för ett fordon som är utrustat med en eller flera slirkopplingar kan det vara önskvärt att kunna växla upp (eller med andra ord att öka rotationshastigheten hos) den utgående axeln från slirkopplingen med exempelvis

ungefär 10 %. Detta är exempelvis fallet när det är viktigt i vissa situationer att ge en axel eller ett hjul ett positivt moment. Det är känt i facket att utnyttja en mekanisk växlingsmekanism för detta ändamål. Föreliggande uppfinning har som ändamål att åstadkomma denna uppväxling (eller nedväxling) på ett enklare sätt än med hjälp av en mekanisk växlingsmekanism.

En första utföringsform av en slirkoppling enligt uppfinningen visas mycket schematiskt i fig 2 och 3.

En ingående axel är lagrad för rotation i ett hus 12. En utgående axel 13 är också lagrad för rotation i huset 12. Dess rotationsaxel är emellertid excentrisk i förhållande till den hos den ingående axeln 11 (men parallell därmed). Såsom framgår av fig 2 och 3, är excentriciteten i planet för fig 2.

Den ingående axeln 11 är försedd med inre eller inåtriktade kopplingsplattor och den utgående axeln 13 med omväxlande yttre eller utåtriktade kopplingsplattor, varvid de två satserna av kopplingsplattor tillsammans bildar en slirkoppling 14 av flerplattstyp.

Kopplingen 14 kan föras i ingrepp med hjälp av kolvar 15 i hydraulcylindrar. Antalet cylindrar är fyra i det visade fallet, och de är jämnt fördelade runt kopplingen 14. Andra antal och fördelningar är möjliga inom ramen för de bifogade patentkraven. Kolven 15 i sin cylinder definieras som en aktuator. De fyra aktuatorerna är markerade A, B, C och D i fig 3. Blott vissa av aktuatorerna påverkas (av trycksatt olja) för att uppnå ett önskat resultat med avseende på kopplingens 14 ingrepp.

Aktuatorerna är här hydrauliska, men de kan lika gärna vara exempelvis elektromekaniska eller pneumatiska.

Tack vare den visade excentriciteten mellan den ingående axeln 11 och den utgående axeln 13 kommer ett ingrepp av kopplingen med hjälp av aktuatoren A att betyda att rotationshastigheten hos den utgående axeln 13 kommer att vara högre än den ingående axeln 11 eller uppväxlad tack vare den större friktionsradien för den ingående axeln än den utgående axeln. På motsvarande sätt kommer en nedväxlingseffekt från den ingående axeln 11 till den utgående axeln 13 att bli resultatet, om kopplingen 14 bringas i ingrepp av aktuatoren B.

Storleken av uppväxlings- eller nedväxlingseffekten beror på excentriciteten  $e$  i förhållande till friktionsradien.

Om samma rotationshastighet för den utgående axeln 13 som för den ingående axeln 11 önskas, kan endera av eller båda aktuatorerna C och D användas, varigenom samma friktionsradie för båda axlarna uppnås.

I den första utföringsformen enligt fig 2 och 3 är excentriciteten fast, vilket betyder att blott en förutbestämd uppväxlings- eller nedväxlingseffekt kan uppnås. Om en variabel uppväxlings- eller nedväxlingseffekt eller med andra ord en variabel excentricitet önskas, kan en andra utföringsform enligt fig 4 och 5 användas.

5 Följande element från den första utföringsformen är försedda med samma hänvisningsbeteckningar i den andra utföringsformen, även om de inte är identiska: den ingående axeln 11, huset 12, den utgående axeln 13, flerplattskopplingen 14 och kolvarna 15.

För att uppnå en variabel excentricitet mellan de två axlarna 11 och 13 kan 10 kolvarna 15 vara anordnade i en reglertrumma eller reglerexcenter 16, som är roterbart lagrad i huset 12 koaxiellt med den ingående axeln 11. Den utgående axeln 13 är roterbart lagrad i reglertrumman 16 med sin rotationsaxel excentrisk i förhållande till rotationsaxeln hos den ingående axeln 11. Med hjälp av en ej visad regleraktuator kan reglertrumman 16 vridas, såsom indikeras av pilar 17 i fig 5, i önskad utsträckning för 15 att åstadkomma en önskad excentricitet mellan rotationsaxlarna hos de två axlarna 11 och 13. Denna regleraktuator kan exempelvis vara hydraulisk, elektromekanisk eller pneumatisk. Den önskade uppväxlings- eller nedväxlingseffekten åstadkoms då på samma sätt som har beskrivits ovan för den första utföringsformen enligt fig 2 och 3.

Eftersom reglerexcentern 16 kan vara vridbar i sådan utsträckning att 20 aktuatorerna A och B kommer till de i fig 5 visade lägena för aktuatorerna C och D, kan de senare aktuatorerna möjligtvis utelämnas från konstruktionen. Även en av aktuatorerna A och B kan utslutas – utan att anordningens förmåga att uppnå den önskade uppväxlings- eller nedväxlingseffekten förloras – förutsatt att reglertrumman 16 kan vridas i nödvändig utsträckning.

25 Det finns många möjligheter att utnyttja slirkopplingen enligt uppfinningen i ett landsvägsfordon. Den kan exempelvis vara monterad mellan fram- och bakaxlarna i ett framhjulsdrevet fordon utan centrumdifferential. Kopplingen med excentricitet kan vara av det variabla slaget med två lägen, nämligen med ett utväxlingsförhållande av 1/1 eller med ett uppväxlingsförhållande av ungefär 1/1,1. Det första läget används vid 30 majoriteten av körförhållandena, medan det andra används när körsituationen kräver en mera garanterad bakhjulsdrift.

En annan möjlighet är att anordna två kopplingar enligt uppfinningen mellan 35 kronhjulet i bakaxeln utan differential och de respektive drivaxlarna (halvaxlarna). På detta sätt kommer en momentfördelning mellan fram- och bakaxlarna liksom mellan höger och vänster bakhjul att uppnås.

Vidare kan en slirkoppling enligt uppfinningen anordnas mellan differentialen och en drivaxel hos en fram- eller bakaxel hos ett landsvägsfordon, eller mera exakt mellan differentialhuset (anslutet till differentialens ringhjul) och en drivaxel.

5 Ändamålet med ett sådant arrangemang, som kan utnyttjas även i ett fordon utan fyrhjulsdrift, är att möjliggöra en fri momentfördelning mellan det högra och vänstra hjulet på axeln. Det föreslås att utnyttja en slirkoppling med fast excentricitet av det slag som visas i fig 2 och 3. Eftersom drivaxeln måste ha samma centrumlinje som differentialhuset, måste extra åtgärder emellertid vidtas. Två utföringsformer för att uppnå detta önskade resultat visas i fig 6 och 7 respektive fig 8 och 9.

10 Den första av dessa två utföringsformer visas i fig 6 och 7. En drivaxel 21, som sträcker sig ut från en vanlig differential 22, är roterbart lagrad i ett hus 20. En hushylsa 23, som även är roterbart lagrad i huset 20, är förbunden med differentialhuset i differentialen 22. Såsom är känt för en fackman på området, är differentialhuset fäst vid ett ringhjul drivet av en drivpinjon på en kardanaxel och innehåller kugghjul, som  
15 åstadkommer differentialeffekten och är förbundna med de utgående drivaxlarna, av vilka drivaxeln 21 är en.

Det finns vidare en transmissionshylsa 24, som är excentriskt lagrad för rotation i huset 20. På samma sätt som beskrivits ovan under hänvisning till fig 2 och 3, finns en första flerplattslirkoppling 25 anordnad mellan hushylsan 23 och  
20 transmissionshylsan 24. Denna första koppling 25 kan bringas i ingrepp av kolvar 26, vilka i sina cylindrar bildar aktuatorer, jämnt fördelade runt kopplingen 25 och kallade A, B, C och D i fig 7. På samma sätt finns en andra flerplattslirkoppling 27 mellan transmissionshylsan 24 och ett flänsarrangemang 21' på drivaxeln 21. Denna andra koppling 27 kan bringas i ingrepp av kolvar 28, motsvarande kolvarna 26. Vid arbete  
25 bringas de två kopplingarna i ingrepp med hjälp av de respektive kolvarna 26 och 28 på motsvarande sätt som beskrivits ovan. Resultatet är en uppväxling eller nedväxling av drivaxeln 21 i förhållande till den andra drivaxeln på samma axel men också att den utgående drivaxeln 21 är koaxiell med den utgående axeln från differentialen 22.

Den andra av dessa utföringsformer visas i fig 8 och 9. Vid denna  
30 utföringsform används blott en excentrisk flerplattslirkoppling för att uppnå den önskade uppväxlingen eller nedväxlingen, medan ett cykloväxelarrangemang utnyttjas för att avlägsna förskjutningseffekten från den excentriska kopplingen.

En drivaxel 30 till höger i fig 8 skall anslutas till en planetväxel i en vanlig fordonsdifferential, medan en hushylsa 31 skall anslutas till differentialens  
35 differentialhus. En transmissionshylsa 32 är excentrisk i förhållande till drivaxeln och är

roterbart lagrad i ett hus 33, genom vilket drivaxeln 30 sträcker sig. En roterande rörelse bibringas från hushylsan 31 till transmissionshylsan 32 utan någon uppväxling eller nedväxling med hjälp av ett cykloväxelarrangemang 34, vars konstruktion inte beskrivs ytterligare men förstås från ritningen av en fackman på området. Det finns en

5 flerplattslirkoppling 35 mellan drivaxeln 30 och den excentriska transmissionshylsan 32. Aktuatorer är fördelade runt kopplingen 35, såsom har beskrivits ovan i samband med tidigare utföringsformer. En fylld pil 36 indikerar var påverkan kan ske för åstadkommande av en uppväxling och en streckad pil 37 där påverkan kan ske för åstadkommande av en nedväxling.

10

## PATENTKRAV

5 1. Slirkopplingsarrangemang för ett landsvägsfordon, vilket arrangemang har  
en ingående axel (11; 23; 24; 31), en utgående axel (13; 24; 21; 30), omväxlande  
kopplingsplattor (14; 25; 27; 35) anslutna till de två axlarna samt aktuatorer (15; 26; 28;  
36, 37) för att bringa kopplingsplattorna i ingrepp, **kännetecknat** av att de två axlarna  
(11, 13; 23, 24; 24, 21; 31, 30) är excentriska i förhållande till varandra – men parallella  
– och att aktuatorerna (15; 26; 28; 36, 37) är så positionerade i förhållande till  
10 kopplingsplattorna (14; 25; 27; 35) att en önskad uppväxling eller nedväxling mellan de  
två axlarna erhålls vid kopplingsingrepp med hjälp av utvalda aktuatorer.

2. Arrangemang enligt krav 1, varvid de två axlarna (11, 13) är lagrade i ett hus  
(12), som även innehåller aktuatorerna (15) för att selektivt ansätta sin respektive kraft  
vid olika önskade ställen.

15 3. Arrangemang enligt krav 1, varvid den ingående axeln (11) är lagrad i ett  
hus (12) och den utgående axeln (13) är excentriskt lagrad i en reglertrumma (16), som  
är lagrad koaxiellt med den ingående axeln, är försedd med aktuatorerna (15) och kan  
roteras för åstadkommande av en önskad excentricitet mellan de två axlarna.

20 4. Arrangemang enligt krav 1 och 2 eller krav 1 och 3, varvid arrangemanget är  
monterat mellan de främre och bakre axlarna i ett framhjulsdrevet fordon utan  
centrumdifferential.

5. Arrangemang enligt krav 4, varvid excentriciteten är variabel, exempelvis  
för att ge ett uppväxlingsförhållande av 1/1,1 eller ett utväxlingsförhållande av 1/1.

25 6. Arrangemang enligt krav 1 och 2 eller krav 1 och 3, varvid ett arrangemang  
är monterat mellan ett kronhjul och varje drivaxel eller halvaxel hos en bakaxel utan  
differential.

7. Arrangemang enligt krav 3, varvid ett arrangemang är monterat mellan ett  
differentialhus (23; 31) och en drivaxel eller halvaxel (21; 30) hos en driven främre eller  
bakre axel.

30 8. Arrangemang enligt krav 7, varvid ett andra kopplingsarrangemang används  
för att göra drivaxeln (21) koaxiell med differentialhuset (23).

9. Arrangemang enligt krav 7, varvid ett cykloväxelarrangemang används för  
att göra drivaxeln (30) koaxiell med differentialhuset (31).



