# Snedkugg – pilkugg, vem var först?

Av Carl-Göran Nilson

Kugghjulet är ett maskinelement som människan använt i mer än tusen år för att överföra en rotationsrörelse från en axel till en annan. Redan 300 år före vår tidräknings början omnämns kugghjul i skrifter av Aristoteles. Heron tillskrivs användandet av kugghjul i diverse instrument varvid även vinkelväxlar förekomma. (En vinkelväxel är en kuggväxel där de båda axlarna ej är parallella.) Två tillämpningsområden kan därunder skönjas, dels som instrumentkugghjul och dels som kraftkugghjul.

Instrumentkugghjul fanns i Herons konstruktioner, men man har inte funnit några rester av hans instrument, men ett remarkabelt fynd finnes i Antikyteramekanismen, som efter nära tvåtusen år i ett skeppsvrak på medelhavets botten kom till ytan. Det innehöll ett stort antal samverkande kugghjul som vid en skarpsinnig analys befanns vara ett sinnrikt räkneverk för astronomiska beräkningar.

Vi överger nu instrumentkugghjulen för att något närmare titta på kraftkugghjulen. De kom tidigt att användas i t ex kvarnar där man även återfinner vinkelväxeln som överförde rörelsen från den horisontella axel, på vilken kvarnhjulet eller kvarnvingarna satt till den vertikala axel som drev kvarnstenen runt. I början tillverkades kraftkugghjulen av trä i mycket enkelt utförande där kuggarna inte var annat än pinnar, (fig 1) men så småningom kom raffinerade konstruktioner med utbytbara träkuggar som kunde ersätta utslitna sådana (fig 2). Man lärde sig tälja dem till den form de skulle få efter inslitning och man lärde sig att använda olika träslag i hjulets olika delar för att utnyttja deras olika speciella egenskaper. Vartefter kraven och tekniken utvecklades tillkom kraftkugghjul av järn, först gjutna sådana där kuggarna kom ur formen helt färdiga, dels hjul av stål där kuggarna bearbetades fram ur ett ringformat ämne.

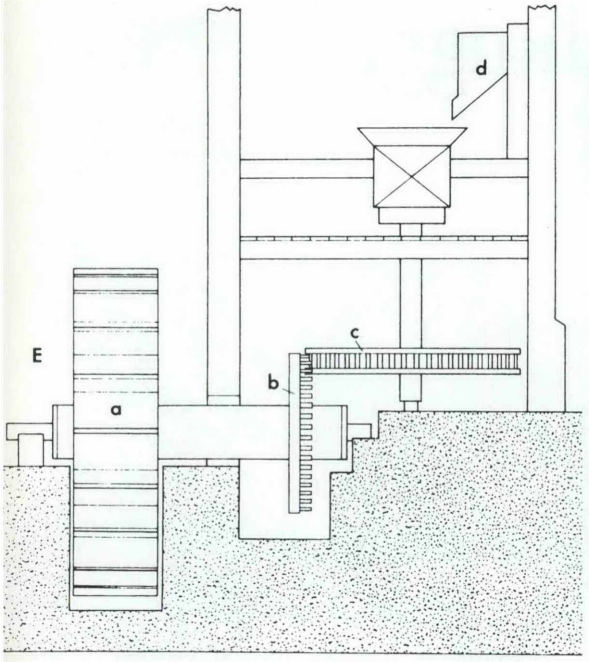



*Fig 1. (Ur Strandh* Maskinen genom tiderna*).*

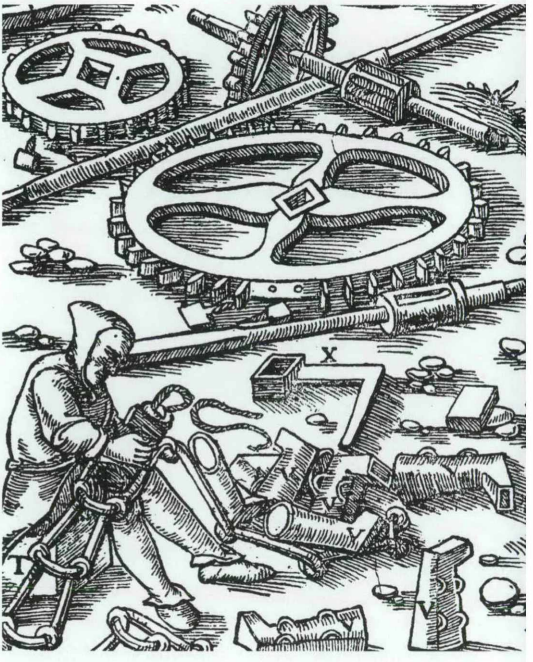



*Fig 2. (Ur* Agricola*).*

Man hade nu även lärt sig den teoretiskt riktiga formen på kuggarnas sidor, de s k kuggflankerna (fig 3). När två sådana kugghjul samverkar sticker det ena hjulets kuggar in i luckorna mellan det andra hjulets kuggar. Kontakt mellan kuggflankerna uppstår längs en linje, dock engageras endast den ena flanken, mellan kuggens "baksida" och motkuggen i det andra hjulet finns ett litet mellanrum kallat kugg-glapp.

En som studerade kuggväxlarnas teori var professor *Frantz Reuleaux* (1829–1905) vid der Königlichen Gewerbe-Akademie (sedermera Tekniska Högskolan) i Berlin. I sin bok "Der Construkteur" (tredje upplagan, Braunschweig 1872) leker han med olika vinklar mellan axlarna och visar hur snett ställda axlar (fig 4a) kan vinklas på olika sätt så att i ett specialfall växeln enl fig 4b (den kallas vanligen skruvväxel) och i ett annat fall den vanliga växeln fig 4c uppstår. Den senare visas här med snedställda kuggar (snedkugg), en alls icke nödvändig reminiscens från utgångsläget enl fig 4a. Releaux insåg naturligtvis att man i en växel enl fig 4c får en axialkraft som måste förhindras att skjuta de två hjulen åt varsitt håll på resp axlar. Botemedlet visas i fig 4d, pilkuggen.

För Reuleaux var detta bara geometriska spekulationer. Han synes aldrig ha utfört kuggväxlar med sned- eller pilkugg. Behov förlåg ej på den tillämpade teknikens områden.

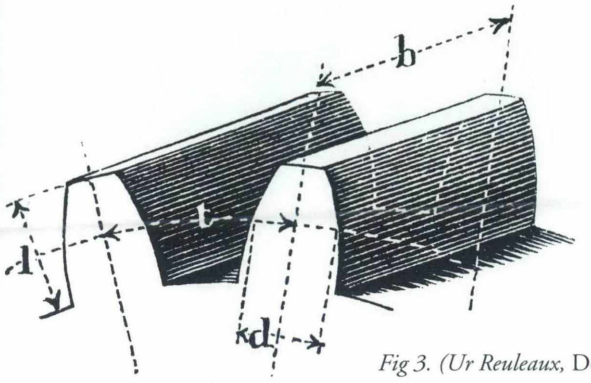
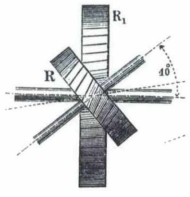
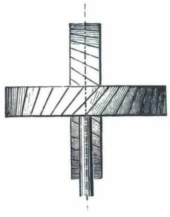



*Fig 3. (Ur Reuleaux,* Der Construkteur).



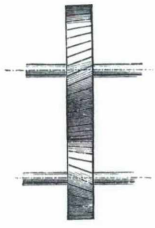




*Fig 4a.* *Fig 4b.* *Fig 4c.* *Fig 4d.*
*(Ur Reuleaux,* Der Construkteur*).*

Sådan var tekniken ända tills kraven på periferihastighet hos kugghjulen och överförd kraft blev så stor att konstruktionens svagheter och begränsningar gjorde sig gällande. Den största svagheten kan förklaras med hänvisning till fig 3. Ofrånkomliga brister i tillverkningsnoggrannheten gör att bågen betecknad *l* ej är absolut densamma i varje kuggpar, ej heller är kuggtjockleken *d* absolut lika hos alla kuggar. Det rör sig visserligen bara om hundradelar eller rent av tusendelar av en millimeter men det gör att kugglappet ej är absolut uniformt. En kugg kan således komma en aning för tidigt i ingrepp med sin motkugg eller en aning för sent. Detta är betydelselöst vid lågpresterande kuggväxlar men alstrar vibrationer som vid högre varvtal ger sig tillkänna som "kuggtjut" och ofrånkomligen leder till utmattningsbrott vid högt belastade kuggar.

En som i sitt utvecklingsarbete brottades med kuggproblemen var *Gustaf de Laval.* Han hade nämligen utvecklat sin ångturbin till ett praktiskt användbart alternativ till den betydligt klumpigare, tyngre och dyrare kolvångmaskinen. Men – och detta var det återstående problemet – ångturbinen måste, för att komma till sin rätt, arbeta med ett för dåtidens maskinteknik svindlande varvtal, 30 000 à 40 000 varv/minut. Om turbinen skulle kunna användas för drift av elgeneratorer, pumpar el dyl måste dess varvtal reduceras till under 3 000 v/m.

Dåtida teknik hade ingen lösning på problemet annat än för mycket små effekter (snördrift). Kuggväxlar med rakkugg fanns naturligtvis även för stora effekter men de var helt oanvändbara vid de nya extrema varvtalen. Efter mycket skissande på olika kuggkonstruktioner kom Gustaf de Laval fram till snedkuggen och slutligen pilkuggen. Se fig 5 som återger hans skiss daterad 24 okt 1891. Han insåg vad prof Reauleux ej nämner nämligen att snedkuggen går i ingrepp med sitt mothjul vid kuggens ena ände. Ingreppet sker ej som vid rakkugg längs en linje utan är en fläck som vandrar till kuggens andra ände. Vid tillräcklig snedvinkel kan nästa och nästa osv kugg gå i ingrepp innan den första fläcken "vandrat ut". Resultatet blir ett vibrationsfritt samarbete mellan de båda hjulen. Detta inses lätt när man betraktar fig 7, som visar en 2 hästkrafters turbin med pilkuggväxel. Årtalet är 1892.

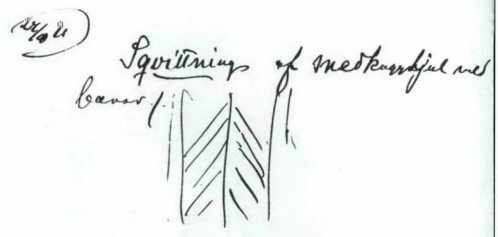


*Fig 5. Gustaf de Lavals skiss.*




*Fig 6. Citroëns kylarmärke.*

I etthundra års tid har pilkugghjulet ansetts vara en av Gustaf de Lavals tre förnämsta uppfinningar, så fundamentala att de aldrig kommer att förlora sin betydelse. (De två andra är expansionsmunstycket och den elastiska rotoraxeln). Av hans mödosamma utvecklingsarbete framgår att han ej kände till prof Reauleux´ arbete, men eftersom han ej sökt, än mindre beviljats, patent på uppfinningen, kan man ana att Reauleux´ arbete kom i dagen vid en nyhetsgranskning i Patentverket.

Man kan naturligtvis fråga sig om inga andra uppfinnare, som verkade vid den dåtida teknikens frontlinje, möjligen kan göra Gustaf de Laval rangen som pionjär stridig. Man finner då en som gjort anspråk på att ha varit först med att använda pilkugghjul nämligen fransmannen *André Citroën.* Efter examen vid Ecole Polytechnique i Paris, troligen 1898 eller1899 for han till Polen. I Warszawa träffade han en morbror som var uppfinnare. Denne visade André ett träkugghjul med pilkugg. Idén slog rot, så när André år 1900 i Paris startade en fabrik för tillverkning av kuggväxlar hade han skaffat sig ensamrätten att tillämpa uppfinningen i Frankrike. Vilken vikt han fäste vid vid pilkugghjulet framgår av att han, när han år 1924 grundade sin bilfabrik, lät två vinklar symboliserande växellådans pilkuggar ingå i kylarmärket (fig 6).

Skissen i Gustaf de Lavals skissdagbok samt den i Tekniska museets Maskinhall befintliga, med pilkuggväxel försedda 2 hk ångturbinen som tillverkades redan år 1892, visar emellertid att Gustaf de Laval

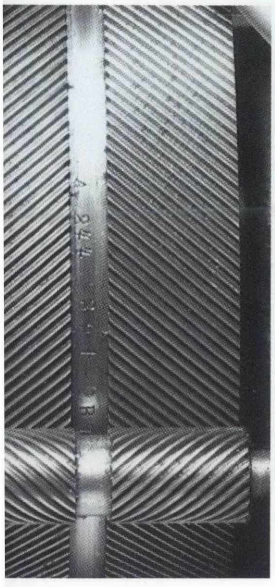


*Fig 7. Pilkuggväxel. Foto TM.*

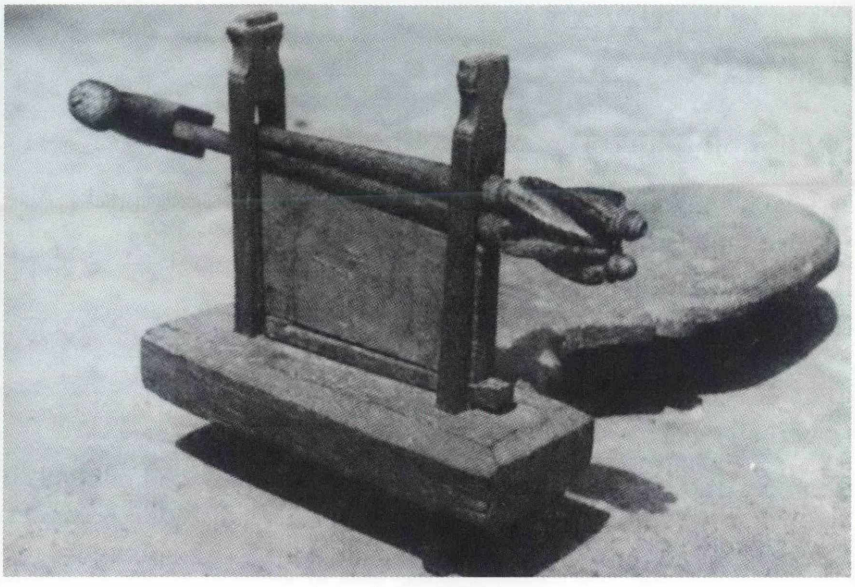


*Fig 8. Medeltida bomullsrensmaskin. (Ur Staffan Hansson* Teknikhistoria*).*

med bred marginal slår André Citroën vad prioriteten angår.

Ibland kan man dock råka ut för överraskningar. På The National Museum i Kandy, Sri Lanka, finns två flera hundra år gamla bomullsrensmaskiner med två valsar. Den ena valsen drivs med en handvev och dess rörelse överförs till den andra valsen via ett kugghjulspar med snedkugg.

Kugghjulen beskrivs av Joseph Needham i boken *Science and Civilisation* icke som "ordinary gear-wheels but elongated worms placed side by side". Uppenbarligen var han inte tillräckligt förtrogen med senare tiders teknik för att identifiera anordningen som embryot till våra dagars kuggväxlar med snedkugghjul. Ett medeltida mekaniskt snille som insett att han ej mäktade snida kugghjul med många och därigenom små kuggar, men väl kunde åstadkomma hjul med några få grova kuggar, löste problemet genom att snida fyra grova snedkuggar på vardera hjulet!

Därmed måste man konstatera att både Gustaf de Laval och André Citroëns morbror "återuppfann" snedkuggen utan att ha en aning om att en tjugoårig teoretisk beskrivning av snedkuggens och pilkuggens geometri och en flerhundraårig praktisk tillämpning av snedkugg fanns.

Existensen av den antika förlagan och professor Reauleaux' teoretiska studie förringar dock inte på något sätt de sentida uppfinnarnas insatser och Gustaf de Lavals prioritet vad praktisk tillämpning beträffar bör knappast ifrågasättas.