

Intern belastning, extern belastning och stavriktningsindex

Skisens white paper – April 2025

Dan Kuylenstierna

Johan Högstrand

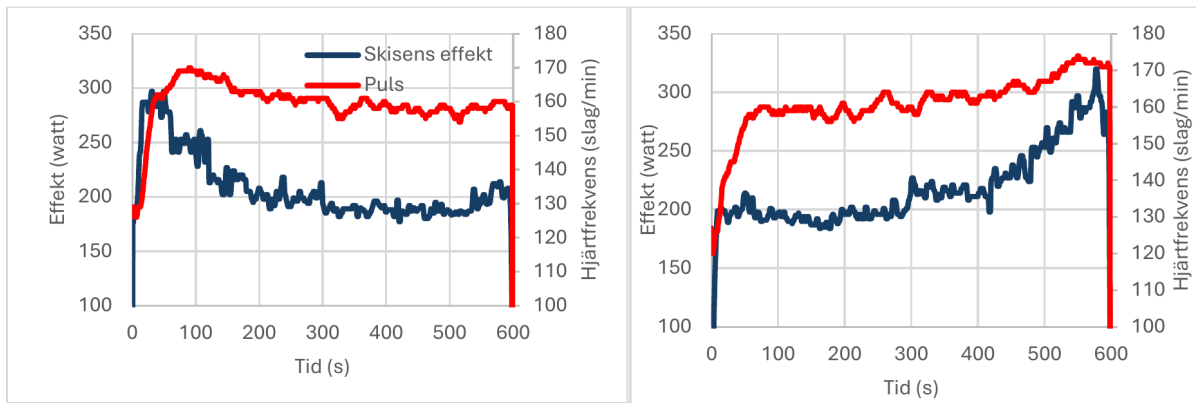
Det finns flera olika sätt att mäta den belastning kroppen utsätts för under fysisk ansträngning. Dessa kan delas in i mått av *intern belastning* respektive *extern belastning*. Intern belastning refererar till hur hårt kroppen arbetar medan extern belastning refererar till det arbete kroppen utför.

Exempel på mätetal som kan spegla kroppens interna belastning är hjärtfrekvens (puls), laktat och syreupptag (VO_2). Av dessa så är VO_2 , till skillnad mot de två övriga, också ett mått på kapacitet (arbetsförmåga). Även om VO_2 är ett mått på arbetsförmåga är det inget mått på prestation. För att jämföra prestation behöver vi mått på extern belastning. Det bästa måttet på extern belastning är utfört arbete per tidsenhet – det vill säga effekt (watt). Effekten är proportionerlig mot VO_2 genom kroppens verkningsgrad. Enkelt förklarat innebär detta att den externa effekten kan ökas endera genom att höja den interna arbetskapaciteten mätt i syreupptag eller genom att höja verkningsgraden.

Skisens effekt bygger på att mäta kraft i staven och multiplicera med hastighet. Eftersom stavens axelkraft inte är linjerad med färdriktningen lägger vi även på en faktor som vi kallar *poling-efficiency index* (PFR), *stavriktningsindex* på svenska, vilket är definierat som kvoten mellan kraft i färdriktningen och stavens axelkraft. Generellt så är PFR inte känt på individnivå utan sätts i Skisens gränssnitt till ett konstant värde $\text{PFR}=0.6$ vilket är ett typvärde för en tränad skidåkare som kör i kontrollerad fart i lätt terräng. Detta är naturligtvis en approximation. I själva verket varierar PFR också med åkteknik och intensitet vilket gör att den effekt Skisens mäter inte alltid överensstämmer med extern effekt så som man mäter i cykel.

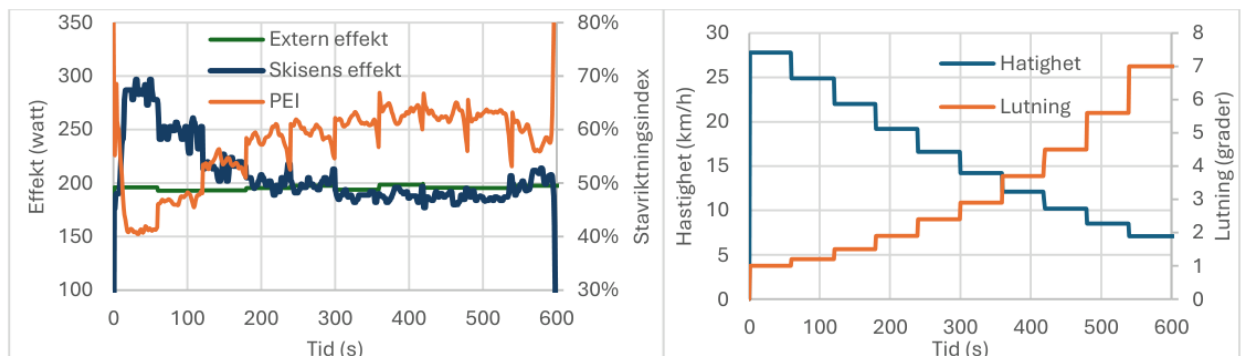
Att Skisens effekt inte helt överlappar med extern effekt gör att vi behöver tänka lite annorlunda kring tolkning av mätdatan än vad vi gör inom cykel. Det är inte nödvändigtvis så att en åkare som har högre Skisens effekt är en bättre skidåkare. En bidragande faktor till hög Skisens effekt kan också vara ett lägre stavriktningsindex. Dock har det visat sig att Skisens effekt korrelerar förträffligt med kroppens interna belastning – faktiskt mycket bättre än extern effekt vilken i skidor är starkt beroende på om man kör i brant lutning eller i platt terräng.

Som exempel på detta visar Figur 1 Skisens effekt överlagrad med hastighet för en åkare som på rullband håller en konstant extern effekt av 200 watt i olika kombinationer av hastighet och lutning. Notera hur pulsen är högre då Skisens effekt är högre, även om den externa effekten är samma. För att utesluta påverkan av ackumulerad trötthet så har testet körts i båda riktningar, dvs åkaren har först börjat med hög hastighet, Figur 1 och sedan låg hastighet. I båda fallen är det tydligt att både hjärtfrekvens och Skisens effekt är hastighetsberoende. I synnerhet ökar de båda för hög hastighet men det finns också tendens till ökning i brant lutning och således en "sweet spot" där rörelseekonomin är som bäst. Att använda Skisens effekt för intensitetsstyrning istället för puls har en stor fördel eftersom den förstnämnda svarar mycket snabbare vid ändrad belastning.

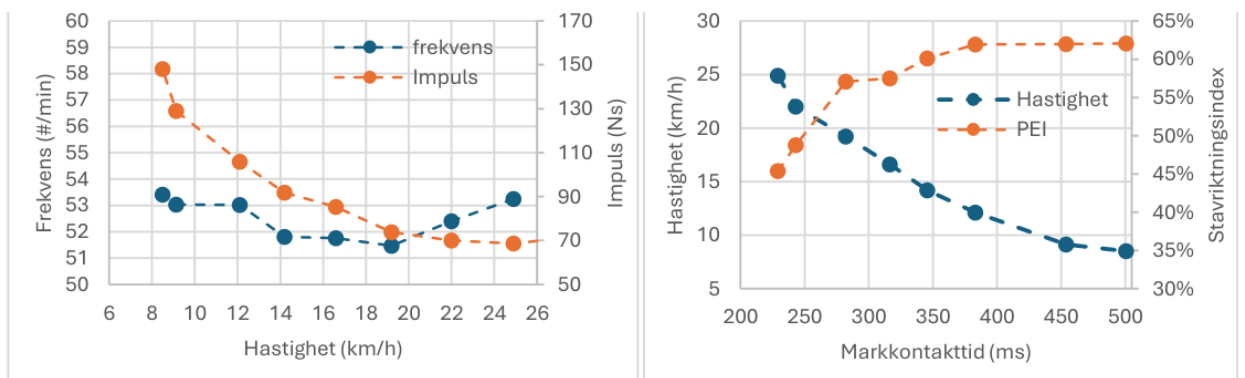


Figur 1: Skisens effekt och hjärtfrekvens för en åkare som konstant håller 200 watt i olika kombinationer av hastighet och lutning.

De variationer som kan ses för Skisens effekt i Figur 1 kan översättas till variation i PFR. Detta illustreras i Figur 2 som också visar protokollet med variationer i hastighet och lutning. Bakom de variationer som i Figur 2 kan ses i PFR ligger teknikvariationer som kan återspeglas i Skisens nyckeltal: impuls, frekvens och markkontakttid vilka visas i Figur 3.



Figur 2: Variationer av Skisens effekt med hastighet och lutning under konstant extern effekt. (a) Skisens effekt och pole force ratio (PFR). (b) Hastighets- och lutningsprotokoll genom test.



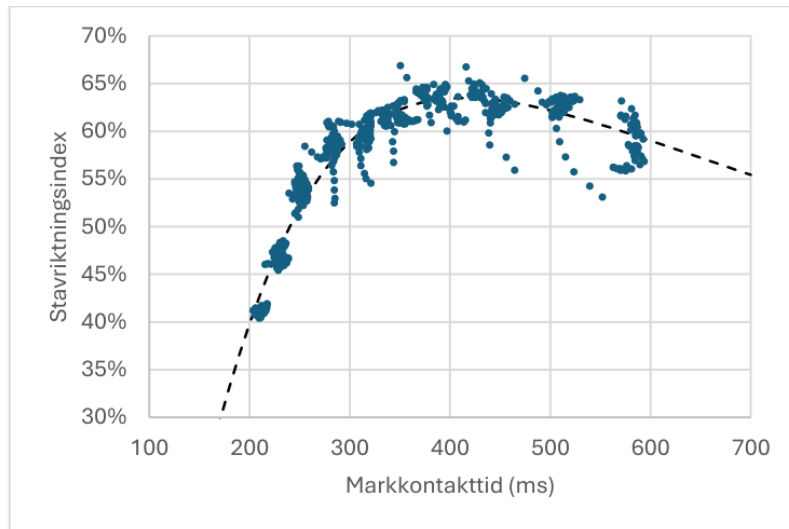
Figur 3: Variationer av impuls och frekvens med hastighet (a) samt hastighet och stavverkningsgrad som funktion av markkontakttid (b).

Noterbart i Figur 3 är att hastigheten korrelerar starkt med markkontakttiden och således korrelerar även stavverkningsgraden med markkontakttid vilket möjliggör extraktion av en modell. Empiriskt har det visat sig att modellen i ekvation (1) passar bra för att modellera stavverkningsgradens beroende av markkontakttid så som kan ses i Figur 3.

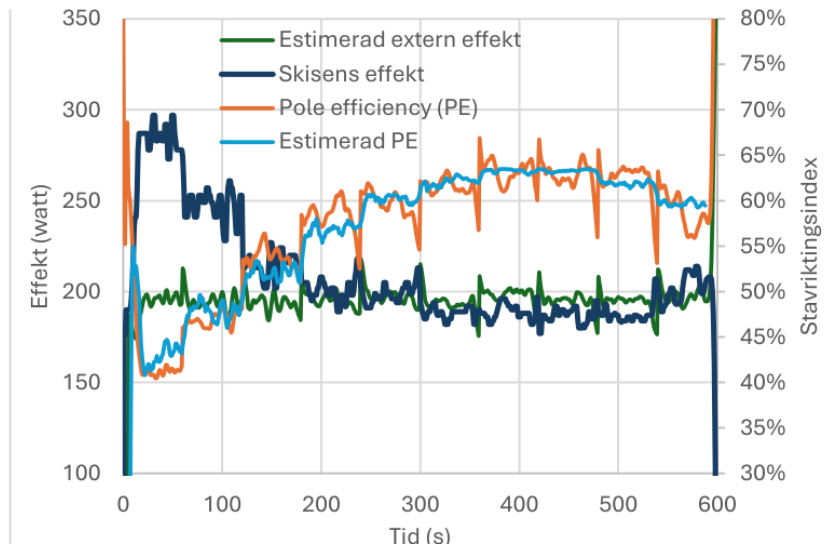
$$\text{PFR}(T) = A \frac{\frac{T - T_{\text{shift}}}{T_0}}{1 + \left(\frac{T - T_{\text{shift}}}{T_0}\right)^\alpha} \quad (1)$$

där T är markkontakttid medan A , T_{shift} , T_0 , och α är anpassningsparametrar som används för att justera nivån på peaken, shift av kurvan i x-led samt relationen mellan initial ökning av PFR för låga markkontakttider till avtagandet vid högre.

Figur 4 visar modellen i ekvation (1) anpassad mot PFR genom testet som beskrivs ovan. Genom att tillämpa modellen på Skisens effekt är det sedermera möjligt att estimerar extern effekt. Figur 5 visar estimerad extern effekt. Notera hur denna till skillnad från Skisens effekt fluktuerar kring ett konstant värde av 200 W, den externa effekten, genom testet.



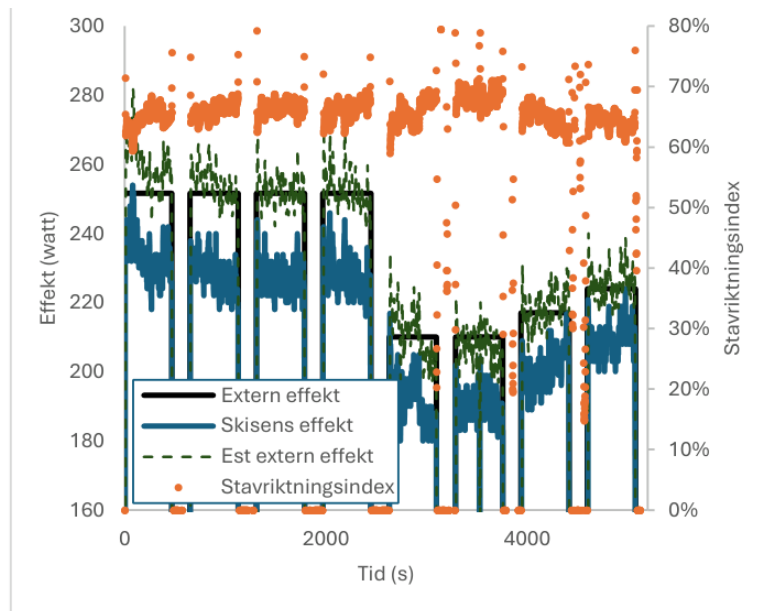
Figur 4: Verklig markkontakttid (.) jämförd mot modellen (-) i ekvation (1).



Figur 5: Jämförelse av uppmätt och modellerad PFR samt Skisens effekt och extern effekt genom 10 minuters test enligt protokoll i Figur 2(b).

För att ytterligare exemplifiera hur extern effekt kan fås fram genom att känna till stavriktningsexet visar Figur 6 mätetal från ett intervallpass på rullband. Notera hur Skisens effekt

ligger under extern effekt samt att de korrelerar mycket väl vilket är ett tecken på att PFR i just detta fall är > 0.6 samt att variationen över passets hastighetsspann är måttlig.



Figur 6: Effekt och stavriktningsindex genom intervallpass på rullband. Första 4 intervallerna är lutningen 5° och hastigheten 12 km/h sedan följer fyra intervaller i 3° lutning och 15, 15, 16, 16.5 km/h.

Diskussion och slutsatser

I denna text har vi diskuterat tolkning av Skisens effekt relaterat till hur vi tolkar effekt inom cykel. Först och främst är båda mått på belastning. I detta avseende kan man på individnivå jobba precis likadant. Man kan utgå från sin FTP uttryckt i Skisens effekt för att styra intervaller. För mer detaljerad styrning av intervaller i hög zon kan man använda sig av power profile.

Dock behöver vi tänka lite annorlunda när det kommer till att jämföra prestation. Skisens effekt är inte rakt av extern effekt på samma sätt som i cykel. Orsaken till detta är att stavriktningsexet, det vill säga hur stor andel av kraften som går i färdriktningen varierar mellan olika åkare.

Den som bättre vill lära känna sitt stavriktningsex kan köra ett protokoll på rullband för att ta fram en modell över dess variation med hastighet och markkontaktid. Utifrån en sådan modell är det sedan möjligt att beräkna extern effekt som är ett direkt mått på prestation så som i cykel.