

Sammanfattning (engelsk):

This thesis is devoted to the analysis and optimization of pacing strategies in cross-country skiing and time-trial road cycling. In locomotive sports, it is well known that variable pacing strategies using changes in the distribution of power output are beneficial when external forces vary along the way. However, there is a lack of research that more in detail investigates the magnitude of power output alteration necessary to optimize performance. A numerical program has been developed in the MATLAB software to simulate cross-country skiing and time-trial road cycling, as well as pacing strategy optimization in these two locomotive sports. The simulations in this thesis are performed by solving equations of motion, where all the main forces acting on the athlete are considered. The motion equations also depend on the course profile, which is expressed as a connected chain of cubical splines.

The simulation process is linked to an optimization routine called the Method of Moving Asymptotes (MMA), which strives to minimize the finishing time while altering the power output along the course. To mimic the human energetic system, the optimization is restricted by behavioural and side constraints.

Simple constraints like maximum average power output are used for cross-country skiing in Papers I and II. In Paper III a more sophisticated and realistic constraint is used for the power output in time-trial road cycling. It is named the concept of critical power for intermittent exercise and combines the aerobic and anaerobic contributions to power output.

In conclusion, this thesis has demonstrated the feasibility of using numerical simulation and optimization in order to optimize pacing strategies in two locomotive sports. The results are clearly showing that these optimized pacing strategies are more beneficial to performance than an even distribution of power output.

Sammanfattning (svensk):

Denna avhandling är dedikerad att analysera och optimera farthållningsstrategier i längdskidåkning och tempocykling på landsväg. I idrotter som bygger på kontinuerlig framåtdrivning är det väl känt att farthållningsstrategier med variabel effekt är fördelaktiga om de yttre

krafterna varierar längs banan. Ändå saknas forskning som mer i detalj utreder hur mycket effekten ska variera för att optimera prestationen. Ett numeriskt program har utvecklats i programvaran MATLAB för att simulera längdskidåkning och tempocykling samt optimera farthållningsstrategin i dessa idrotter. Simuleringarna använder sig av rörelseekvationer som består av de huvudsakliga krafter som verkar på idrottsutövaren under färd. Rörelseekvationerna påverkas också av banprofilen, som är uppbyggd av en sammankopplad kedja av tredjegradspolynom.

Simuleringsprogrammet är kopplat till en optimeringsalgoritm med namnet Method of Moving Asyptotes (MMA), som strävar efter att minimera tiden mellan start och mål genom att ändra effekten längs med banan. Optimeringen begränsas av bivillkor i ett försök att efterlikna den mänskliga kroppens fysiologiska begränsningar.

Enkla begränsningar såsom maximal medeleffekt används för längdskidåkningen i artikel I och II. I artikel III används mer sofistikerade och realistiska bivillkor för att begränsa uteffekten vid landsvägscyklning. Här används modellen för kritisk effekt vid intervallträning, som kombinerar aerobt och anaerobt arbete.

Sammanfattningsvis har denna avhandling visat på möjligheterna med att använda numerisk simulering och optimering för att optimera farthållningsstrategin i två idrotter. Resultaten visar tydligt att dessa optimerade farthållningsstrategier med varierande effekt är mer fördelaktiga för prestationen jämfört med en farthållningsstrategi med helt jämn effektfördelning.