

Ulf Danielsson, Stig Grambo

Position och arbetsbelastning i fält. Direktmätning och beräkning från GPS-data



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSinSTITUT

NBC-skydd
901 82 Umeå

FOI-R--0683--SE

April 2003

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Ulf Danielsson, Stig Grambo

Position och arbetsbelastning i fält. Direktnätning och beräkning från GPS-data

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI NBC-skydd 901 82 Umeå	Rapportnummer, ISRN FOI-R--0683--SE		Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 8. Människan i totalförsvaret		
	Månad, år April 2003	Projektnummer E4454	
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet		
	Delområde 81 MSI med fysiologi		
Författare/redaktör Ulf Danielsson Stig Grambo	Projektledare Ulf Danielsson		
	Godkänd av		
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM		
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig		
Rapportens titel Position och arbetsbelastning i fält. Direktmätning och beräkning från GPS-data			
Sammanfattning (högst 200 ord) Grundläggande GPS-teknik har använts för att bedöma lägesuppfattning, förflyttningshastighet och terrängprofil. Effektkrav på individen beräknades först utifrån individens och bördans massa, hastighet och terrängens lutning. Energiomsättningen hos en försöksperson mättes också direkt med bärbar utrustning. Jämförelse mellan de två teknikerna har gjorts för olika typer av terräng; motionsslinga med måttliga lutningar, plan löparbana, delvis kuperad promenadväg samt långsträckt backe på körväg. GPS-tekniken gav ett fel i läge som oftast var inom apparatens specifikation, ±15 meter. Terrängen påverkar noggrannheten genom att skärma av satelliter. Störningarna varierar med tiden. Tillräcklig lägesinformation erhålles dock ofta även i tät skog och i närheten av bergknallar och t.o.m höga hus. Störningarna är allvarigare för hastighetsberäkningen eftersom den inverkar starkt på beräknad effektutveckling. Terrängens lutning beräknades från GPS-apparatens inbyggda höjdmätare. Dess upplösning på en meter gav, med filtrering, god information om lutningen. Beräknad och mätt effektutveckling stämde väl överens när data medelvärdesbildades. Under kortare moment kunde dock olika stora skillnader uppstå beroende på dynamiken i lutning och hastighet. Effektmedelvärdet för hela förflyttningen i de olika terrängtyperna skilde bara ca 3% mellan teknikerna. Metoden att använda GPS för skattning av individens fysiska belastning tycks vara användbar. Om hjärtfrekvens- och/eller kärntemperaturmätare inkluderas finns ännu bättre möjlighet att separera olika komponenter i den fysiska påfrestningen i form av arbets- och termisk belastning.			
Nyckelord Effektutveckling, börda, förflyttning, hastighet, terräng			
Övriga bibliografiska uppgifter		Språk Svenska	
ISSN 1650-1942		Antal sidor: 45 s.	
Distribution enligt missiv		Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency NBC Defence SE-901 82 Umeå	Report number, ISRN FOI-R--0683--SE	Report type User report
	Research area code 8. Human Systems	
	Month year April 2003	Project no. E4454
	Customers code 5. Commissioned Research	
	Sub area code 81 Human Factors and Physiology	
Author/s (editor/s) Ulf Danielsson Stig Grambo	Project manager Ulf Danielsson	
	Approved by	
	Sponsoring agency FM	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Position and work load in the field. Human measurements and estimations from GPS-data		
Abstract (not more than 200 words) Basic GPS-technique has been used for estimation of position, transportation speed and gradient. Energy metabolic rate has been calculated from the masses of the individual and of carried burden, speed, and terrain. The metabolic rate of one subject was also measured directly using a portable equipment. Comparison between measured and calculated metabolic rate was performed for various terrain; a path with moderate gradients, a flat running track, a hilly walk and motor road with a long slope. Generally the position error of the GPS was within its specification, i.e. ± 15 meters. The terrain affects the accuracy of the GPS obtained position. The accuracy changes with time also. Yet, sufficient accuracy in position can be reached even in dense woods and close to rocks and even among high buildings. The lack of accuracy is more serious to the estimation of speed as a sudden error in position may give an impossible power demand. The gradient of the terrain was measured using the barometer of the GPS-unit. After averaging, its resolution, 1 meter, allowed rather accurate gradient estimations. Measured and calculated metabolic rates coincided fairly well. However, during shorter periods deviations occurred, with the magnitude depending on the dynamics of speed and gradient. Average metabolic rate, for each activity and terrain, differed not more than 3% between the techniques. The method of using a GPS-unit to estimate the physical load of an individual seems to be useful. Adding a heart rate and/or core temperature meter the physical load could probably be separated also giving information on the thermal load.		
Keywords Metabolic rate, burden, movement, speed, terrain,		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 45 p.	
	Price acc. to pricelist	

INNEHÅLL

Bakgrund	6
Metoder och teknik	7
GPS	7
Position och kartdatum	8
GPS-mottagare	9
Effektutveckling	9
E-meter (energiomsättningsmätare)	9
Metod	9
Apparatur	10
Muxer	10
Musklernas energiomsättning	11
GPS-effektutveckling	12
Beräkningsmodeller	12
GPS-dataanpassning	14
Terräng	15
Position	16
Resultat	18
Diskussion	38
Slutsats	42
Litteratur	43
APPENDIX	44

Omslagsbild och terrängfotografier: Ulf Danielsson. Flygfoton från Lantmäteriet. Publicering av dessa i rapporten är godkänd av Lantmäteriet.

Bakgrund

Den internationell utvecklingen inom området ”framtida soldaten” prioriterar bland annat teknikutvecklingen som berör lägesuppfattningen (SA eller Situational Awareness). En viktig komponent är där positionering och orientering, det vill säga soldatens eller gruppens förmåga att veta var man är, hur omgivningen ser ut och var övriga, vän och fiende befinner sig samt hur man ska förflytta sig för att nå önskat mål. Eftersom soldaten i många situationer förväntas förflytta sig avsutten så är ett annat stort intresse knutet till metoder och tekniker för bedömning av individens fysiologiska status. Syftet är att kunna förutsäga den alltmer värdefulla soldatens fysiska men även mentala förmåga och där belastningens nivå och duration är viktiga komponenter för prestationsnivån.

Utvecklingen i Sverige följer den som sker i omvärlden vilket exempelvis illustreras av den kraftfulla satsningen på NBF (NätverksBaserat Försvar). En kontrollstation för NBF är Demo 05 vilken i första hand ska fokusera på lägesuppfattning. I linje med NBF-arbetet pågår introduktionen av den framtida svenska, markstridsutrustade soldaten, MARKUS, som i linje med sina internationella gelikar, LandWarrior (USA), FIST (UK), FELIN (Frankrike), NORMAN (Norge) m. fl. kommer att få ett antal nya förmågor jämfört med dagens infanterist.

Den framtida soldaten kommer att verka på det digitaliserade slagfältet som antingen kan bestå av svensk, småbruten terräng eller bebyggelse i annat land i samband med deltagande i internationella operationer. Soldatens framtida förmåga att insamla och bearbeta information, men även att kraftfullt kunna nyttja sina vapen, gör att han kommer att bli ett s.k. värdigt mål. Eftersom den internationella utvecklingen pekar på minskad acceptans för egna förluster innebär detta ett ökat krav på skydd. Tyngre skydd och ny utrustning medför, trots, teknikutveckling och miniatyrisering, ökat krav på fysisk kapacitet hos soldaten. Risken är dock att även den mest vältränade soldaten kan bli fysiskt utmattad. Det medför minskad kognitiv förmåga, inte minst i samband med hög termisk belastning, något som ofta följer av hög arbetsbelastning. En önskan är därför att den framtida soldaten ska kunna övervakas med målet att risken för fysisk och mental överbelastning minimeras och med ökad prestationsförmåga som följd.

Syftet med denna inledande studie är att undersöka hur väl en individ kan bestämma sin position i terräng där soldaten förväntas uppträda med hjälp av basal GPS (Global Position System) utan att nyttja tilläggsinformation av typen dGPS eller EGNOS. Om karaktären på terrängen är känd liksom förflyttningshastigheten kan, i princip, individens arbetsbelastning beräknas om dessutom bördans vikt är känd. Ett försök i den riktningen har gjorts. Demczuk (1998) samlade in data på individers effektutveckling i fält och jämförde dessa med beräknade värden erhållna från en modell utvecklad av Pandolf et al. (1977). Demczuks (1998) målsättning var att inkludera de nya beräkningarna i CAEN (Close Action ENvironment) för simulering av strid på låg nivå. Demczuk (1998) fann dock att beräkningsmodellen inte var tillräckligt bra.

Målet med denna studien var också att jämföra fysisk arbetsbelastning i fält, dels mätt direkt med bärbar utrustning, dels beräknad utifrån nyutvecklad modell (Santee et al. 2001) där ingångsdata tas från GPS-mottagare med separat höjdsensor. Med tillräckligt god överensstämmelse finns möjlighet att bedöma soldatens fysiska kapacitetsutnyttjande. Även termiska belastning går att förutsäga med eftersom den dominerande delen av effektutvecklingen övergår i värme i kroppen (Nagle et al., 1990).

METODER OCH TEKNIK

GPS

GPS eller Global Position System är ett satellitbaserat positioneringssystem som kontrolleras, drivs och underhålls av USA. Fram till för några år sedan valde USA att lägga in slumpartade störningar i systemet för att civila utrustningar skulle få sämre noggrannhet i positionsangivelse än militära. På grund av ökad konkurrens från Ryssland och Kina men även inför utsikten att EU skulle utveckla eget system togs störningen bort för några år sedan. Även under "Desert Storm" togs störningen bort eftersom bara den civila marknaden kunde förse NATO/FN-förbanden med tillräckligt antal mottagare.

Den noggrannhet som kan uppnås är cirka 15 meter (RMS) i markplanet (x/y - led). I z - led (höjd) är noggrannheten sämre, cirka 30 m. Ett sätt att förbättra lägesuppgifterna är att nyttja differentiell GPS (dGPS) vilken baseras på ett referenssystem med känd position. Genom att kombinera denna radiobaserade informationen med den från GPS-satelliterna kan en noggrannhet på mindre än cirka en meter uppnås. Men ännu mycket högre noggrannhet går att driva upp med differentiell teknik. Terrier et al. (2001) har försökt mäta den mekaniska verkningsgraden vid gång på plan mark genom att mäta masscentrums vertikala förflyttning. Då nyttjades en upplösning som var på millimeternivå. Felet i lägesinformationen uppstår på grund av atmosfäriska störningar vilka påverkar radiosignalernas transmissionshastighet. Så om referensstationen är nära mätpunkten, det vill säga har samma "klimat", kommer noggrannheten att bli ännu högre, ofta ned till några få centimetrar eller ännu lägre. Andra typer av referenssystem är under införande i Nordamerika, WAAS, och inom några år införs EGNOS i Europa som kommer att tillåta en noggrannhet som motsvarar den med dGPS. Det nya systemet kommer att vara inbyggt i GPS-apparaten vilket undanröjer behovet av speciell utrustning och abonnemang av referensdata. Om inte behovet av korrektion finns i realtid kan korrigeringen ske i efterhand vid lägesberäkningen om referensdata finns tillgängligt. Framförallt i USA har detta varit populärt där privatpersoner lägger in referensdata på sin internet - hemsida. Även om största förbättringen sker då avståndet mellan mätplats och referensplats är liten kan förbättringar uppnås t. ex. i Tyskland med referensdata tagna från Kalifornien.

Men eftersom det kanske inte är realistiskt att det alltid, i Sverige eller utomlands, finns en sådan referensskälla baserades den här studiens mätningar på den grundnoggrannhet som ges av enbart de 24 GPS-satelliterna. En viktig del i hur väl positionen, och därmed hastigheten hos objektet, kan bestämmas är hur många satelliter som kan följas av mottagaren. Kommersiella apparater har vanligtvis kapaciteten att följa 12 satelliter parallellt. Vanligast är dock att utrustningen spårar betydligt färre satelliter och ju färre desto sämre blir, i princip, noggrannheten i Ortsbestämningen. Förutsättningarna bestäms av var på jordklotet man befinner sig, hur omgivande terräng ser ut samt tidpunkten.

De flesta GPS-mottagare tar emot dataflödet, processar det och skickar ut det på mottagarens utgång enligt ett standardiserat protokoll benämnt NMEA 183. Vanligtvis ger apparaten ut information en gång varje sekund. Datasträngarna innehåller information om tid, latitud, longitud, höjd, hastighet, hur många satelliter som spåras (d.v.s. vilka som används för beräkningarna). En typisk datasträng ser ut enligt följande (figur 1)


```
$GPGGA,123519,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

Där:

GGA	Basal GPS-positionsdatasträng
123519	Positionen bestämd vid 12:35:19 UTC
4807.038,N	Latitud 48 grad. 07.038 min N
01131.000,E	Longitud 11 grad. 31.000 min E
1	Positions kvalitet: 0 = ogiltlig
	1 = GPS-positionering
	2 = dGPS-info
	6 = beräknad (end. NMEA 2.3)
08	Antal spårade satelliter
0.9	Horizontell "dilution of position" se APPENDIX
545.4,M	Höjd (meter) över medelhavsnivå
46.9,M	Höjd (meter) över WGS84-ellipsoiden
(tom position)	dGPS-info
(tom position)	dGPS-info
*47	checksumma, börjar alltid med *

Figur 1. Dataflöde från GPS-mottagare med standardiserat protokoll (GGA).

Det finns även GPS-mottagare med tilläggsfunktioner som gör att datasträngen kan se något annorlunda ut även om den i stort följer standarden. En sådan tilläggsfunktion kan vara höjdangivelse beräknad från till exempel intern apparatsensor och som kan ge bättre noggrannhet än den som beräknas från satellitdata. Det finns ett antal NMEA - strängar för speciella behov. Men eftersom dataöverföringshastigheten är standardiserad till 4800 bps (bits per second) kommer strängar med mycket information att bara kunna sändas var annan sekund. Kortare strängar kan skickas ut med maximal frekvens, d.v.s. datauppdatering en gång per sekund.

Position och kartdatum

Det två vanligaste sätten att presentera positionen är angivelse i latitud och longitud. Basen i detta system är jordens centrum där longituderna går från norr (geografiska nordpolen) till söder (sydpolen) och latituderna går i öst-västlig riktning. Longituderna visar positionen i grader öster och väster om noll - meridianen (Greenwich). Det maximala värdet för longituden åt öster eller väster är 180°. Latituden visar positionen i grader norr och söder om ekvatorn. Det maximala värdet för latituden åt norr eller söder är 90 grader. Latitud - longitud systemet är det som oftast används på topografiska kartor världen över. Latitud och longitud kan anges som grader, minuter och hundradels minuter eller i grader, minuter och sekunder.

Ett annat sätt att ange positionen är att använda ett koordinatsystem. Det vanligaste koordinatsystemet världen runt är UTM som står för Universal Transverse Mercator. Det är ett globalt, metriskt system, där jorden har delats in i sektorer (zoner) om sex grader och inom varje zon har ett koordinatsystem (UTM) skapats. Zonerna är numrerade från 01 till 60 och vid gränsen mellan 30 och 31 finns nollmeridianen inlagd. Inom varje zon finns det koordinater, norr och öster, som anger positionen. Det innebär att man alltid måste ange vilken zon man befinner sig i eftersom det finns 60 platser på jorden med samma UTM norr och öster koordinater.

Förutom dessa två vanligaste positionssystemen finns ett antal lokala koordinatsystem utvecklade för enskilda länder eller områden till exempel svenskt, brittiskt, finskt, nya zeeländskt, schweiziskt, holländskt samt MGRS. En annan faktor det gäller att beakta är vilket kartdatum som används. Kartdatum bygger på vilken matematisk modell som använts för att beräkna jordens yta på havsnivån. Beroende på kartdatum kan positionen skilja sig åt något. GPS-apparaterna kan oftast presentera positionen enligt de olika kartdatum, till exempel WGS84 vilket är standard. Andra kartdatum är RT90, KKJ, Irland, GRB36, Europe 50, Aust 84, NAD 27, Tokyo, Swiss, S Amer 69. Om den karta man nyttjar är baserad på annat kartdatum än det som GPS:en använder måste en transformation ske.

GPS-mottagare

Marknaden är fylld av GPS-mottagare av olika förmågor och kvaliteter. I denna studien användes en GPS-mottagare från Silva, modell Multi - Navigator. Det huvudsakliga skälet till detta val var apparatens inbyggda barometer som möjliggör höjdangivelse med mycket större noggrannhet, ca 3 meter (upplösning 1 meter) än den som ges av GPS-satelliterna (ca 40 m).

Apparatens noggrannhet i x-y planet är ca 15 m RMS om inte differentiell teknik eller motsvarande används. Den praktiska noggrannheten bestäms av hur många satelliter som kan spåras och också hur dessa ligger i förhållande till varandra. Mottagaren har kapacitet att ta emot signaler från 12 satelliter samtidigt (parallellt) (se APPENDIX).

Effektutveckling

E-meter (energiomsättningsmätare)

Metod

Energiomsättningen (effekten) som människan utvecklar baseras på olika processer i kroppens celler. Processernas relativa betydelse bestäms av vilken typ av bränsle som är tillgängligt och hur snabbt effekt måste produceras. Ursprungligen baseras dock all energiomsättning på oxidation av kolhydrater, fett och proteiner. Mängden syrgas som åtgår för att förbränna en viss mängd bränsle beror på bränslets art. Men eftersom dessa förbränns i ett relativt stabilt förhållande kan mätning av oxygenförbrukningen ge en god uppfattning om hur stor effekt som utvecklas (Wennberg och Danielsson, 1976). Effekten kan beräknas ur

$$E = V_{I,STPD} \cdot 346 \cdot (0,2094 - f_{EO_2}) \quad (1)$$

Där V_I är det okorrigerade inandningsflöde (l/min) som kan mätas av en luftflödesmätare och f_{EO_2} är den fraktion av utandningsluften som utgörs av oxygen. Oxygenets energiekvivalent, inkluderande proteinfaktorn (0,13), är 346 och är beräknad för STPD-förhållanden (Standard Temperature Pressure and Dry). Det kräver att V_I korrigeras för tryck, fukt och temperatur. Formelmässigt sker det genom

$$V_{I,STPD} = V_I \cdot [273 / (273 + T_a) \cdot (p_B - p_{H_2O}) / 1013] \quad (2)$$

Där V_I är det okorrigerade flöde som uppmäts av flödesmätaren (l/min), p_B är det barometrisk trycket och p_{H_2O} är inandningsluftens vattenångstryck (hPa) och T_a är inandningsluftens temperatur (°C).

Uppmätt effektutveckling, ekv. (1), baseras alltså på det oxygenutbyte som sker i lungorna vid mättillfället. Men kroppen kan även producera effekt som baseras på s.k. icke-aeroba processer. Den effekten inkluderas inte vid mättillfället. De anaeroba processerna kommer dock att kräva oxygen, detta under resyntetisering av de effektalstrande processerna (Bearden och Moffatt, 2000), men vid ett senare tillfälle och i en annat tempo än när motsvarande effekt utvecklades. Detta gör att uppmätt och verklig effektutveckling kan ha något olika nivåer och dynamik.

Apparatur

Effektutvecklingen hos försökspersonen beräknades med hjälp av ekv. (1) från data insamlad med en egenutvecklad apparat (E-meter). Apparaten är bärbar med en vikt av cirka 2 kg. Den består av en andningsmask (halvmask) på vilken det sitter en luftflödesmätare. Med hjälp av andningsventilerna i masken mäts enbart inandningsflödet. Flödet mäts med en luftflödesmätare av typen vortex som, utan rörliga delar, mäter massflödet genom att nyttja den så kallade Coanda - effekten. Känsligheten hos flödesmätaren medgör flöden från cirka 5 liter /min till mer än 100 liter/ min (medelflöde) och där gränserna bestäms av trigg - nivåer i elektroniken och accepterat andningsmotstånd vid toppflöden som är cirka 4 gånger större än medelflödet.

Från andningsmasken leder en tunn slang det prov på utandningsluften som tas i masken till en syrgascell som mäter fraktionen oxygen i luftprovet. Innan provet når oxygencellen torkas provet genom passage över silicagel. En avsevärd svårighet i bestämning av energiomsättningen med denna teknik är att ta ett representativt prov på utandningsluften. Den har en oxygenhalt som varierar stort beroende på om den härrör från luften som bara stått i munhålan eller kommer ifrån alveolerna där oxygenhalten är lägsta. Skillnaden mellan halterna är cirka 7 procentenheter, d.v.s. från 21% i munhålan till 14% i lungornas alveoler.

Provet, som tas under utandningen, trycks mekaniskt av utandningstrycket in i en liten behållare där de olika fraktionerna blandas. Under ideala förhållanden trycks provet in i behållaren i proportion till huvudflödet. Om så är fallet blir halten i blandningskärlet lika den som skulle uppnås om hela utandningsvolymen samlades i ett behållare. Problemet är att om för stor fraktion av provet tas från den första delen av utandningsflödet fås för hög oxygenhalt medan om provet får oproportionellt stor del av den sista delen av utandningsflödet fås för låg oxygenhalt och därmed blir den beräknade effektutvecklingen för hög.

Oxygencellen är temperaturberoende eftersom den mäter diffusionen över ett membran. Kalibrering av cellen sker dock frekvent genom att cellen, under sin halva mätperiod, genomströmmas av omgivande luft som normalt har en känd oxygenhalt av ca 21%. Det är oxygencellens svarstid som avgör hur snabba mätningar som kan göras. För att få approximativt sant värde på provet bör det strömma över membranet under cirka 30 sekunder. Det innebär att ett mätvärde fås varje minut. Men om ett mindre fel kan accepteras kan mätperioden halveras vilket innebär att 15 sekunder provanalys följt av 15 sekunders analys av frisk luft. Analyscykelns längd kan varieras i apparaten men i denna studie har den kortare, d.v.s. varje 30 sekund använts. Skälet är att mätvärdena bättre ska spegla ändringar i effektkrav som följer t.ex. terrängens skiftningar.

Muxer

I E-metern lagras mätdata som senare kan dumpas till dator för analys. Data kan även sändas via radiomodem i realtid. Men i den applikation som använts i denna studie har data från E-metern kopplats samman med GPS-mottagaren för gemensam databehandling efter det att

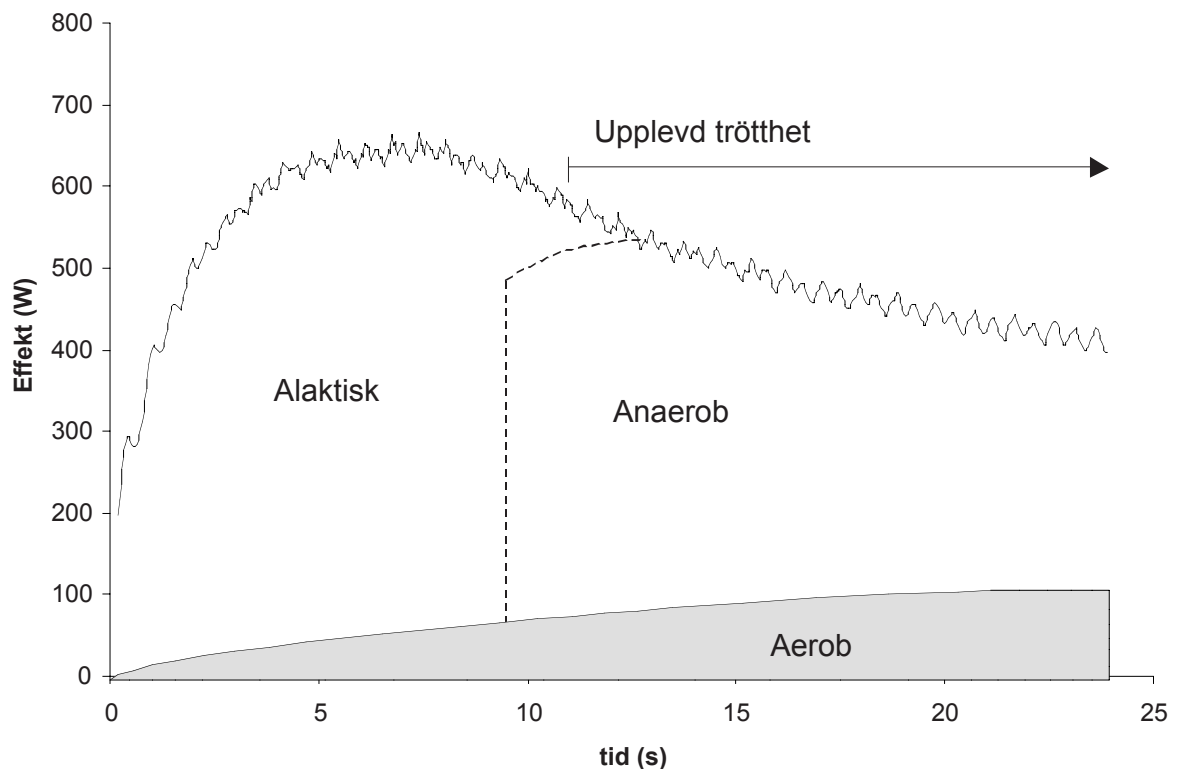
insamlingen slutförts. Hjärtat i muxern (multiplexenhet) är en enkorts dator som har standardiserat gränssnitt och visst arbets- och dataminne. Den högnivåprogrammerade enkorts datorn (BasicStamp-SX) tar hand om dataflödet från E-metern och lägger det i en sträng tillsammans med data från GPS-mottagaren. Genom att låta E-metern styra dataflödena sker ingen förlust av data vilket skulle kunna ske om GPS:en var "master" eftersom GPS-apparaten inte har något "request to send" förfarande. För närvarande, med den minnesutbyggnad som gjorts, kan data samlas under maximalt ca 80 minuter, en tid som kan förlängas ytterligare. I E-metern lagras all data som hör till effektmätningen och dess datakapacitet är större än "muxerns". En relativ enkel förbättring av precisionen i lägesdata kan erhållas genom att samla in alla de GPS-data som kommer varje sekund, medelvärdeberäkna i enkorts datorn och sedan sammanföra dessa med den glesare presenterade höjdangivelsen. F.n. görs inte detta utan frekvensen med vilken höjddata presenteras, varje 5:e sekund, får styra även insamlingen av positionsdata i xy - led.

Musklernas energiomsättning

För att en muskel ska kunna utföra ett arbete krävs energi. Den frigörs när molekylen ATP lämnar ifrån sig en av sina tre fosfatgrupper och bildar ADP varvid ca 40 kJ energi blir tillgänglig. ATP finns lagrat i musklerna för att omedelbart kunna brytas ned och ge energi, men lagren är begränsade och därför måste ATP resyntetiseras ständigt. Detta sker snabbt med hjälp av fosfokreatin eller långsammare, genom andra processer. ATP och fosfokreatin kallas med ett samlingsnamn för fosfogener, och är den huvudsakliga energikällan för alaktisk energiutvinnig, d.v.s. den (anaeroba) process som används när energi behövs omedelbart.

I många situationer behövs dock en fortsatt hög nivå av energiomsättning, så när lagren av fosfogener börjar ta slut (efter 1-15 sekunder) måste kroppen ta sin energi från en annan process, glykolyzen. Glykolyzen sker i cellens cytoplasma och frigör energi genom spjälkning av kolhydrater som glykogen och glukos. När oxygenet inte räcker, sker processen anaerozt. Nackdelen är att laktat bildas och ansamlas som vid fortsatt tungt arbete kommer att bromsa processen. Dessutom frigör glykolyzen förhållandevis lite energi. Parallellt med dessa två processer sker ständigt en aerob energiomsättning. Den är dock långsam och kräver mer än en minut för att bidra maximalt till energitillförseln. De aeroba processerna är mer komplexa och sker i cellens mitokondrier (citronsyracykeln). Där oxideras restprodukten från glykolyzen, fettsyror eller aminosyror och bildar förhållandevis stora mängder energi från bränslekällorna. Dock sker det inte lika fort som i de andra två processerna och därför kommer den utvecklade muskeleffekten att sjunka när de alaktiska och anaeroba processerna minskar.

Under en längre tid av tungt arbete kommer ett samspel mellan alaktisk (nedbrytning av lagrad ATP och CP), anaerob och aerob energiutvinning krävas. Den alaktiska omsättningen startar genast och står i början för praktiskt taget all energiutveckling i muskeln, men eftersom den alaktiska kapaciteten är begränsad måste glykolyzen bidra signifikant. Vid vilken tidpunkt den anaeroba glykolyzen startar och börjar bilda laktat beror av hur tungt arbete som utförs, men det rör sig som 1 - 15 sekunder efter påbörjat arbete. Vid maximalt effektuttag kommer laktat att bildas redan efter någon sekund (Margaria, 1976). Men vid plötsligt tungt arbete uppnås dock inte maximal effekt direkt och därför dröjer det ca 10 sekunder innan laktat bildas. Detta stämmer någorlunda överens med upplevelse av trötthet i benen (se figur nedan), vilken speglas av ökad laktatkonzentration i blodet.



Figur 2. Olika effektproduktionssätt vid tungt arbete och dess utveckling som funktion av tiden.

Den aeroba effekten bidrar endast lite från start men ökar exponentiellt med en halv reaktionstid på ungefär 30 sekunder. Det betyder att efter 25 till 30 sekunders ”supra - maximalt” arbete är oxygenupptaget nästan uppe i halva maximala, aeroba kapaciteten, vilket är en betydande del av den totala effektutvecklingen. För en normalt, mångsidigt tränad person är den aeroba kapaciteten en tredjedel av den alaktiska kapaciteten. Motsvarande för den anaeroba kapaciteten gäller att den är ungefär dubbla den aeroba kapaciteten. De olika energikomponenterna samspelar under ett kort tungt arbete ungefär enligt figur 2.

GPS-Effektutveckling

Beräkningsmodeller

Intresset för beräkning av människans effektutveckling under t.ex. fotförflyttning har varit återkommande stort. Orsaken är att det är av intresse, inte minst under militära förhållanden, att veta hur stor del av en individs fysiska kapacitet som nyttjas under skilda aktiviteter, av tränings, urvals och taktiskäl. Men mätning av energiomsättningen är svårt, speciellt under fältförhållanden och utrustningen innebär ofta ett visst ingrepp i försökspersonen rörelsefrihet. Därför har modeller utvecklats för estimering av individens effektutveckling. Flera av beräkningsmodellerna är baserade på en fysikalisk komponent kombinerad med en faktor som erhållits ur mätdatapassning och som ska spegla fysiologiska mekanismer. Den sannolikt mest nyttjade beräkningsmodellen utvecklades av Pandolf et al. (1977) och har uttrycket

$$P = 1,5 \cdot m_n + 2 \cdot (m_n + m_b) \cdot (m_b/m_n)^2 + f \cdot (m_n + m_b) \cdot (1,5 \cdot v^2 + 0,35 \cdot v \cdot G) \quad (3)$$

Där P är individens energimetabolism (W), m_n och m_b är massan (kg) hos den nakna personen respektive den burna bördan. Faktorn f representerar underlagets inverkan på effektkravet och varierar från 1 vid gång på asfalt till 2,1 vid gång i lös sand (Soule och Goldman, 1972). Uttrycket för f kan också inkludera gång i snö där underlagsfaktorn påverkas av nedsjunkningsdjupet. Faktorn v (m/s) är förflyttningshastigheten och G står för gångbanans lutningen (%).

Det finns även en modifierad version av formeln som bättre anpassar till mycket långsamma gånghastigheter. Formeln ovan är avsedd för gång eftersom den har ett kvadratisk beroende av v (hastigheten) vilket speglar det ökade effektkravet med ökad pendelfrekvens hos benen. Motsvarande sker inte lika tydligt vid löpning vilket medför att om formeln nyttjas för sådan förflyttning blir det beräknade värdet för högt.

En begränsning i ekv. (1) är att den bara är utvecklad för gång i horisontell terräng eller i uppförsbackar. Vid gång i nedförsbackar blir den beräknade effektkravet för litet eller orimligt (negativt). För att råda bot på den bristen har man studerat effektkravet vid gång i mer eller mindre branta nedförslut i olika hastigheter. Santee et al. (2001) har nyligen utvecklat en motsvarighet till ekv (1) och som tar hänsyn till om lutningen är positiv (uppför) eller negativ (nedför). Beräkningsmodellen innehåller ett uttryck för uppförsbacke (P_{tu}) och ett för nedförslut (P_{tn}), allt vid hastigheten 1,34 m/s.

Vid uppförsbacke är ekvationen

$$P_{tu} = P_1 + P_{vp} \quad (4)$$

Där P_{tu} (W) är totala effektkravet uppför, P_1 är effektkravet vid gång på slätmark och beräknas enligt Passmore och Durnin (1955) vid 1,34 m/s till

$$P_1 = 3,28 \cdot m_t \quad (5)$$

Där m_t är totala massan (kg) inkluderande nakenvikt, kläder och burens börda. P_{vp} beräknas enligt

$$P_{vp} = 3,5 \cdot m_t \cdot g \cdot v \cdot G \quad (6)$$

Där g är jordaccelerationen ($9,81 \text{ m/s}^2$), v är gånghastigheten (1,34 m/s) och G är underlagets lutning (%/100). För att inkludera viloenersättning adderas 71,1 W

Vid gång i nedförsbacke byts termen P_{vp} mot P_{vn} som har uttrycket

$$P_{vn} = 2,4 \cdot (m_t \cdot g \cdot v \cdot G) \cdot 0,3^{(\alpha/7,65)} \quad (7)$$

Där α är absolutvärdet av lutningen uttryckt i grader ($^\circ$) medan G i de olika uttrycken är lutningen i procent (%/100) med teckenkonventionen (+) för uppförsbacke och (-) för nedförsbacke. För att anpassa de olika uttrycken för gång i andra hastigheter än 1,34 m/s korrigeras uttrycket P_1 med

$$R = 0,661 \cdot v + 0,115 \text{ (ND)} \quad (8)$$

Det generella uttrycket för energiomsättningen gällande för olika förflyttningshastigheter blir således för uppförsbacke

$$P_{tu} = (0,661 \cdot v + 0,115) \cdot 3,28 \cdot m_t + 71,1 + 2,4 \cdot (m_t \cdot 9,81 \cdot v \cdot G) \quad (9)$$

och för nedförsbacke

$$P_{tu} = (0,661 \cdot v + 0,115) \cdot 3,28 \cdot m_t + 71,1 + 2,4 \cdot (m_t \cdot 9,81 \cdot v \cdot G) \cdot 0,3^{(\alpha/7,65)} \quad (10)$$

Genom att beräkningsmodell från Santee et al (2001) är applicerbar på såväl positiva som negativa lutningar har den använts i denna studie för beräkning av effektutvecklingen för jämförelse med den direktuppmätta på försökspersonen. Vid gång eller löpning i mycket brant terräng, uppför och nedför, kan viss korrigering dock behövas (Minetti et al., 2002). En brist som finns i ovanstående beräkningsmodell är att inverkan från underlaget, annat än slät hård väg, inte är beaktat. Eftersom denna studie enbart är utförd på sådant underlag bör det inte vara något problem för tolkningen av resultaten i detta läge. Vid en fortsättning där förflyttning kan ske i alla terrängar och underlag måste sådan faktor inkluderas.

Samtliga mätningar i denna studie är gjorda på en manlig försöksperson med nakenvikten 64 kg och längden 1,78 m. Den bruna massan, inkluderande kläder och mätutrustning har varit 6 kg.

GPS-dataanpassning

Den använda GPS-mottagaren skickar ut information om läget i horisontalplanet 1 gång per sekund. Däremot presenteras höjddata (lufttrycket) bara en gång var 5:e sekund. Av tekniska skäl kunde, under denna studie, inte xy - data sparas tätare än med den frekvens som data i z - led presenterades (observera att höjddata erhöles från den inbyggda barometern, inte från GPS-data som har mycket sämre noggrannhet, ca 40 m). Eftersom differentiell GPS-teknik inte användes blir felet i lägesangivelsen relativt stor, större än om varje sekunds data kunnat nyttjas för medelvärdesberäkning. Vid jämförelse mellan effektberäkning från GPS-data och data från direktmätning har GPS-data filtrerats med hjälp av flytande medelvärde. Om effektkravet beräknas från ofiltrerade data fås ett mycket brusigt svar eftersom plötsliga "förflyttningar" under kort tid ger upphov till stora effektkrav. Detta är speciellt tydligt vid "vertikalt" brus från tryckgivaren. Därför har data för beräkning av höjdprofilen filtrerats först med avseende på höjd (sex värden) och därefter har beräknad lutning bildats (fem värden). Vid beräkning av hastigheten har lägesdata inte filtrerats utan bara den resulterande hastigheten (sex värden).

TERRÄNG



Figur 3. Terrängen karakteriseras huvudsakligen av en öppen yta utan höjdskillnader. Himlen är till största delen fri från skymmande objekt. Dock finns i södra ändan (bortre delen av bilden) en bergknalle gömd bland träden som lokalt kan skärma av lågt liggande satelliter.

Denna studie genomfördes i olika typer av terräng för att belysa en GPS-mottagares förmåga att ange position när terrängtypen är olika hindrande med avseende på mottagning av satellitsignalerna (figur 3, 4, 5). Dessa terränger karakteriserades av

- 1) motionsslinga med få stigningar delvis dragen genom tät skog (Järvafältet, Sundbyberg)
- 2) löparbana runt öppen idrottsplats (Karlbergs slott, Solna)
- 3) kuperad promenadstig i lövskog (Karlbergs slott, Solna)
- 4) lång backe på länsväg omgiven av skog och bergknallar (Bogesundslandet, Vaxholm)

Valet av terrängtyper med skiftande grad av höjdskillnader styrdes av på behovet att kunna jämföra dynamiken i energiomsättning baserad på direktmätning i jämförelse med beräkning från GPS-data. Det som inte ingår i jämförelsen är betydelsen av olika underlag och interaktionen mellan börda och underlag. Fotförflyttningen skedde genomgående på välpreparerad grusväg med hårt till relativt hårt underlag. Trolig terrängfaktor är 1 eller möjligtvis 1,1 (Soule och Pandolf, 1972). Den här inskränkningen innebär att eventuell möjlighet att bestämma energiomsättning i godtycklig terräng, ur GPS-data, måste studeras separat. En sådan studie måste också inkludera olika stora bördor eftersom det visats att effektutvecklingen på hårt underlag skiljer sig från gång på rullband och skillnaden ökar med bördans vikt (Custance, 1970).



Figur 4. Terrängen karakteriseras av relativt gles lövskog där dock större delen av himlen delvis är skyddad av lövverket. Gångvägen är relativt kuperad där lågt liggande satelliter lokalt kan döljas av bergknallar och låga hus

Vid bruket av GPS-mottagare blir det tydligt att mottagningsförhållandet påverkas starkt av terrängtyp och skogsbeklädning. Men även på stationär ort varierar GPS-mottagarens förmåga att följa satelliter med god signalnivå. Olika tidpunkter möjliggör olika goda betingelser, sannolikt beroende på hur många satelliter som kan följas och hur dessa ligger i förhållande till varandra. En annan "terrängfaktor" som påverkade mottagningskvaliteten under mätningarna var GPS-mottagarens placering. Den var fastsatt på E-meterns utsida, på bärarens rygg men under axelhöjd. Det innebär att beroende på vilken riktning försökspersonen hade så var GPS-mottagaren mer eller mindre skyddad av kroppen. Detta visade sig ha tydlig inverkan på lägesangivelsens kvalitet. En förbättring i detta avseende hade varit om yttre antenner använts. En sådan kan dock inte appliceras på den mottagare som användes i denna studie.

Position

GPS-mottagarens förmåga att lämna relevanta lägesdata kontrollerades genom att jämföra spåret som data gav med den faktiska stigen eller vägen, baserat på Lantmäteriverkets flygfoto. Dessa fria men relativt lågupplösta flygfoto nyttjades som "karta" i de tre olika terrängtyperna. I varje terräng hade ursprungligen minst två, väldefinierade positioner tagits med hjälp av GPS-mottagaren. Dessa placerades ut på flygfotot efter att transponering av lägesdata skett från WGS84 som GPS-apparaten lämnar på sin utgång till kartunderlagets RT90.



Figur 5. Terrängen karakteriseras av tät blandskog där inslaget av gran är stort. Himlen täcks till stor del av skog undantaget rakt ovanför gångstråket. Terrängen är delvis kuperad men inga bergknallar eller andra kompakta hinder finns i närheten av gångbanan.

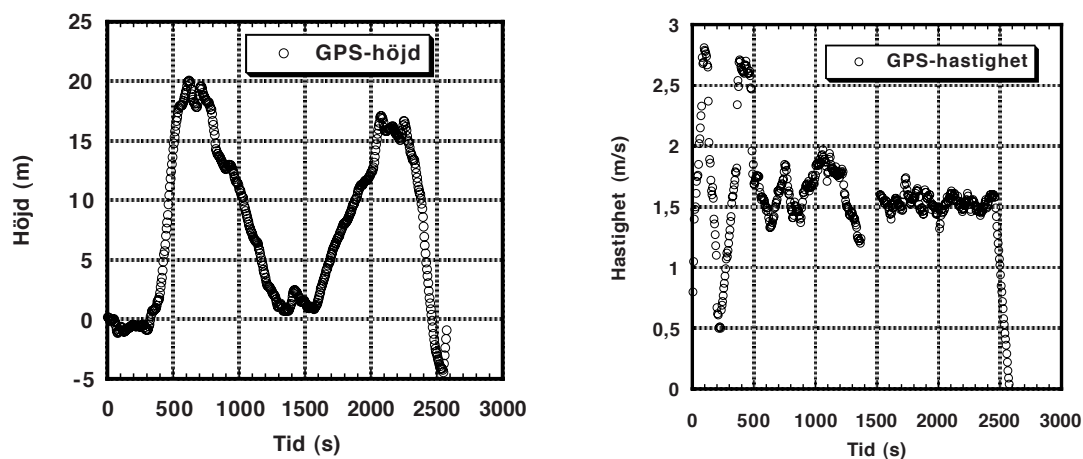
Genom att låta de positioner som samlats in varje 5:e sekund ritas ut på kartunderlaget kan noggrannhet till viss del bedömas. Ringarna som representerar positionerna hamnade mer eller mindre nära den stig eller väg där försökspersonen gått. Absolut mått på noggrannheten går inte att få med denna teknik eftersom den sanna positionen inte är känd i varje ögonblick. Däremot går det att sätta ett mått på precisionen genom att exempelvis mäta vinkelräta avståndet från uppgiven position till den väg där förflyttningen skedde. Noggrannheten i uppmätt hastighet går också att få eftersom såväl tid som sträckans längd (mätthjul) mättes .

Resultat



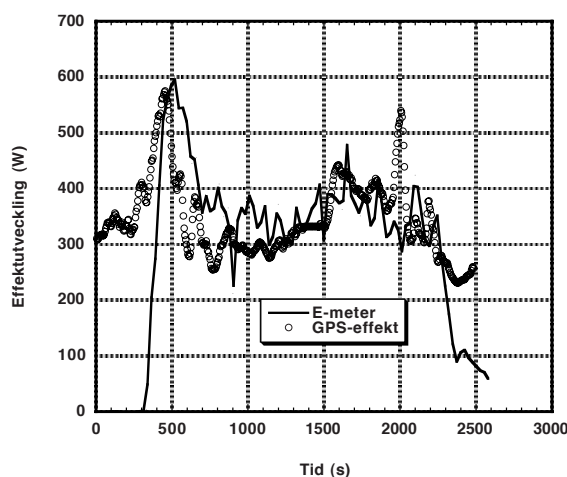
Figur 6. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Terrängen är från Järvafältet,, Sundbyberg (Terräng se figur 5). Flygfoto: Lantmäteriet

Figur 6 visar hur väl banans sträckning kunde återskapas utifrån mottagen lägesinformation vid detta specifika tillfälle. Större avvikelser från spåret skedde vid starten på parkeringsplatsen (vid bildens nedre kant). Under den första stigningen över gräsplanen missas banan med cirka 40 m i östlig riktning. Avvikelse skedde även vid banans mitt (strax ovanför bilden mitt). Fram - och återmarschen skedde inte exakt i samma spår enligt GPS-data. Avvikelsen var som mest cirka 40 m i nord-sydlig riktning. Vid banans vändpunkt uppstod också en viss avvikelse mellan fram och återmarschen. De var cirka 15 m på var sida om gångbanan. I övrigt syns tydligt att ett antal lägesbestämningar har tappats (gluggar mellan ringarna). Frånsett ovannämnda avvikelser följer GPS-data det fysiska spåret väl och ligger till största delen inom GPS-mottagarens noggrannhet, ca ± 15 meter.



Figur 7. GPS-mottagarens registrerade höjdprofil (vänstra figuren) och hastighet (högra figuren) under fotmarschen längs vägen som delvis illustreras av figurerna 3 och 6.

Till figur 6 hörande höjdprofil (figur 7, vänster) visar en relativt god spegling i vändpunkten som nåddes omkring tid 1400 s. Efter 0-ställningen av höjdmätaren, och under vilan före marschen, låg höjden på omkring 0 m. Direkt efter start stiger banan relativt brant för att sedan mer långsamt plana ut mot vändpunkten. Återmarschen visar liknande men omkastad profil med den skillnaden att profilkurvan sjunker med cirka 4 meter efter vändningen vilket också visar sig i att slutpunkten, som sammanföll med startpunkten, hamnade cirka 4 meter lägre än starten. Figur 7 (höger) visar att under större delen av marschen svängde den GPS-beräknade hastighet kring 1,5 m/s. Den jämnaste, beräknade, hastigheten erhöles under återmarschen som skedde i syd till syd-östlig riktning. GPS-mottagaren som var monterad på ryggen skuggades av kroppen i denna riktning. Den verkliga hastigheten var jämn och omkring 1,5 m/s. Hastighetskurvan visar två perioder med tydligt felaktiga värden, dels före och under marschens absoluta början, dels vid vändpunkten.



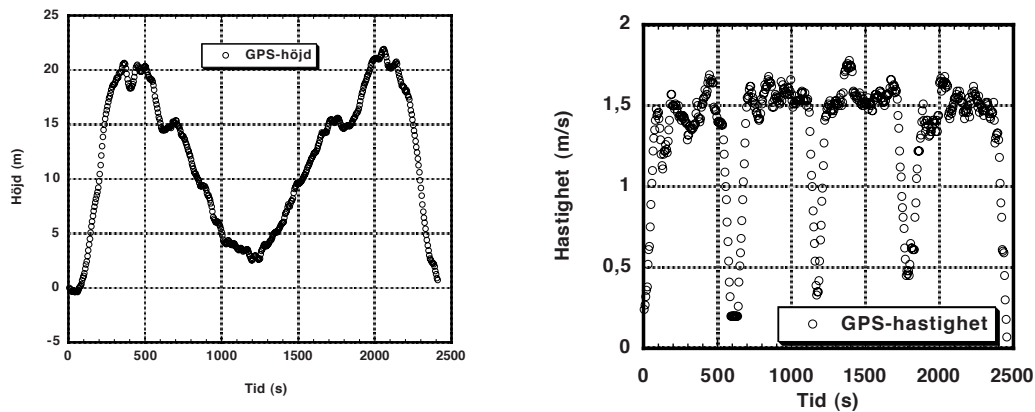
Figur 8. Effektutvecklingen under fotförflyttning på motionsslinga/väg illustrerad av figur 3 och 6. Effekten mätt med E-meter är presenterad av heldragen linje. Effektutveckling beräknad ur GPS-data är märkt med öppna ringar.

Figur 8 visar beräknad effektutveckling ur GPS-data (ekv. 9 och 10) jämförd med den av E-metern uppmätta (heldragen) på försökspersonen under förflyttningen med hastighet och banlutning enligt figur 7. Av illustrationsskäl är en konstanthastighet, 1,5 m/s, inlagd under de perioder då GPS-mottagaren tappade satellitkontakten vilket skedde i periodens början och vid vändpunkten. Försökspersonen tog på sig E-meterns andningsmask vid tiden omkring 350 sekunder i samband med fotmarschens början. Masken togs av några minuter efter målgång, vid vila, då effektutveckling var cirka 100 W. Under förflyttningen följdes beräknad och mätt effektutveckling åt relativt väl och nivåerna var av jämförbar storlek. Medeleffekten beräknad från E-metern var 367 W under perioden 360 sekunder till 2310 sekunder. Motsvarande medeleffekt beräknad från GPS-data var 355W för samma period.

Figur 9 visar GPS-mottagarens positionsangivelser i samma terräng som ovan men under ett annat marschtillfälle. GPS-spåret följer den fysiska banan väl under hela marschen och endast vid ett fåtal tillfällen förlorades kontakt. Avvikelsen från den fysiska banan bedöms vara inom ± 5 meter bortsett från start- och stoppsträckan (nederst i bild) då avvikelsen uppgick till som mest cirka 15 meter.

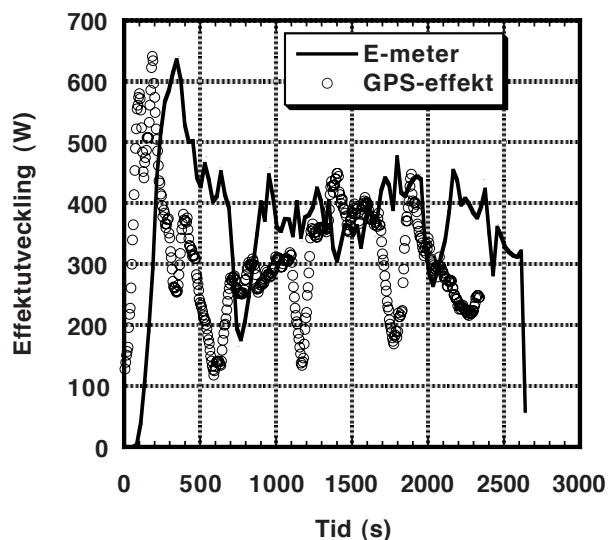


Figur 9. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Terrängen är från Järvafältet, Sundbyberg (Terräng se figur 5). Flygfoto: Lantmäteriet



Figur 10. Höjd- (vänster) och hastighetsprofil (höger) beräknade ur GPS-data under förflyttningen fram och åter på vägen illustrerad av figur 3 och 9.

Figur 10 (vänster) visar att höjdprofilen speglas väl i vändpunkten (tid ca 1200 s). Symmetrin är god och inget av den glidning i höjd som sågs i Figur 7 uppstod. Målgången skedde också på samma höjd som startpunkten. Figur 10 (höger) visar hastighetsprofilen för marschtillfälle illustrerad av figur 9. Efter cirka 600 sekunder förlorades lägesinformationen vilket gjorde att hastigheten blev obestämbar. Strax efteråt spårade GPS-mottagaren tillräckligt många satelliter för att kunna ge rätt hastighet. Tappad information i form av "glugg" i figur 9 syns inte på grund av god spårning i övrig. Ytterligare två "dippar" uppstod. Den ena vid vändpunkten, tid ca 1200 s och den var verklig, den andra vid samma läge som vid utmarschen. GPS-marschhastighet var, för de perioder den kunde beräknas, jämn under hela förflyttningen och medelvärde var 1,49 m/s. Den verkliga förflyttningshastigheten var, beräknad som medelvärde för hela sträckan, 1,48 m/s mätt med mätjul och klocka.



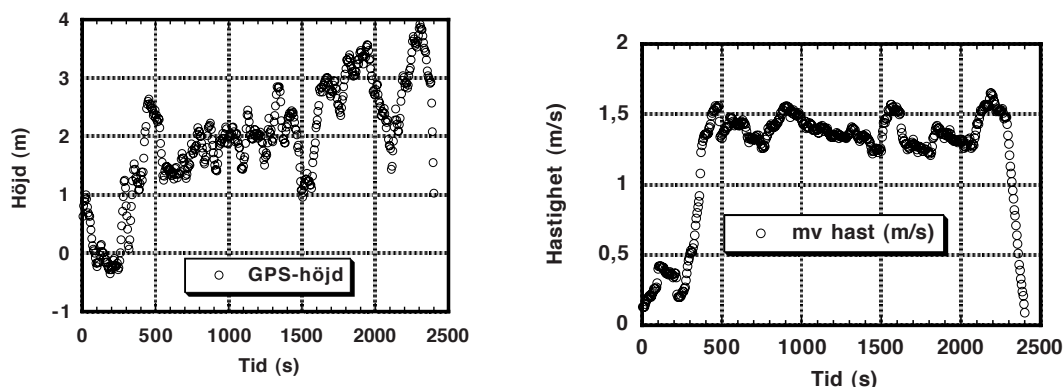
Figur 11. Effektutveckling under förflyttningen på vägen (figur 3 och 9) mätt med E-metern (heldragen linje) och beräknad ur GPS-data (öppna ringar).

Figur 11 visar beräknad och mätt (heldragen kurva) effektutveckling under andra marschtillfället på vägen illustrerad av figur 3 och 9. Relativt god tidsöverensstämmelse erhöles mellan de två kurvorna. Nivåerna stämmer dock inte lika väl överens som vid jämförelsen i figur 8 (första mättillfället). Medeleffekten mätt med E-metern var 378 W medan den ur GPS-data beräknade blev 335 W för perioden då relevant hastighetsinformation var tillgänglig.

Figur 12 visar lägesbestämningarna var 5:e sekund då försökspersonen gick 7 varv på en löparbanan som omger en idrottsplan. Banan är 407 meter mätt med mätjul. Starten för mätningen skedde till vänster på bilden varefter försökspersonen gick in på banan. Bilden visar att felet i öst-västlig riktning var relativt litet på långsidorna, uppskattningsvis ± 7 till 8 meter. Vid marsch norrut spriddes beräknade lägen runt båda sidorna av löparbanan medan utefter norra kortsidan och västra långsidan uppstod lägesfelen huvudsakligen så att positionen hamnade på insidan av löparbanan. Utefter södra kortsidan ökade felen betydligt och blev uppskattningsvis ± 15 till 20 meter kring löparbanan.



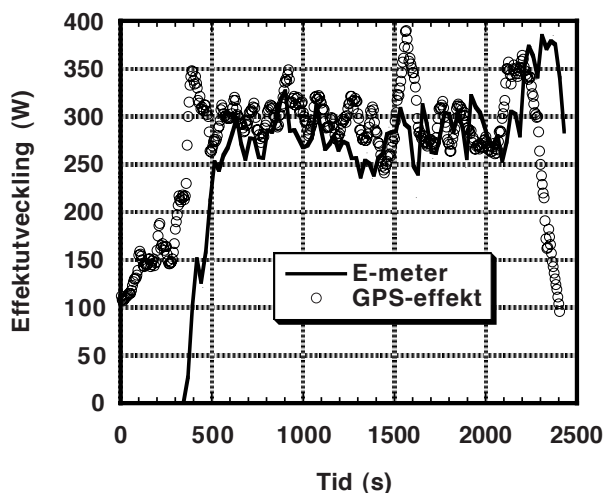
Figur 12. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund beräknad ur GPS-data. Terrängen är idrottsplan vid Karlberg slott, Solna (Terräng se figur 3). Flygfoto: Lantmäteriet



Figur 13. Höjdprofilen (vänster) runt löparbanan beräknad ur GPS-data. Högra bilden visar hastigheten runt löparbanan, också beräknad ur GPS-data.

Figur 13 (vänster) visar att GPS-apparatens starthöjd var cirka 1 meter men efter knappt 40 minuters förflyttning runt löparbanan blev slutmålets nivå cirka 3 meter trots att den är samma fysiska punkt som startpunkten. Tre tydliga artefakter erhöles, dels vid marschens början, tid knappt 500 s, och därefter vid ca 1500 s och 2100 s. Sista varvet avslutas med verklig förhöjd hastighet. Figur 13 (höger) visar att den GPS-beräknade hastigheten var relativt konstant under hela förflyttningen men att ojämnheter uppstod med relativt jämna tidsmellanrum under förflyttningen. Enligt GPS-informationen var medelhastigheten 1,39 m/s under de första sex varven medan det sista, sjunde varvet, passerades med hastigheten 1,52 m/s. Den klockade, sanna, medelhastigheten var 1,43 m/s under de sex första varven och med en sluthastighet av 1,65 m/s. Spridningen i hastighet mellan de sex varven var 0,05 m/s för GPS-data och 0,02 m/s för den klockade hastigheten.

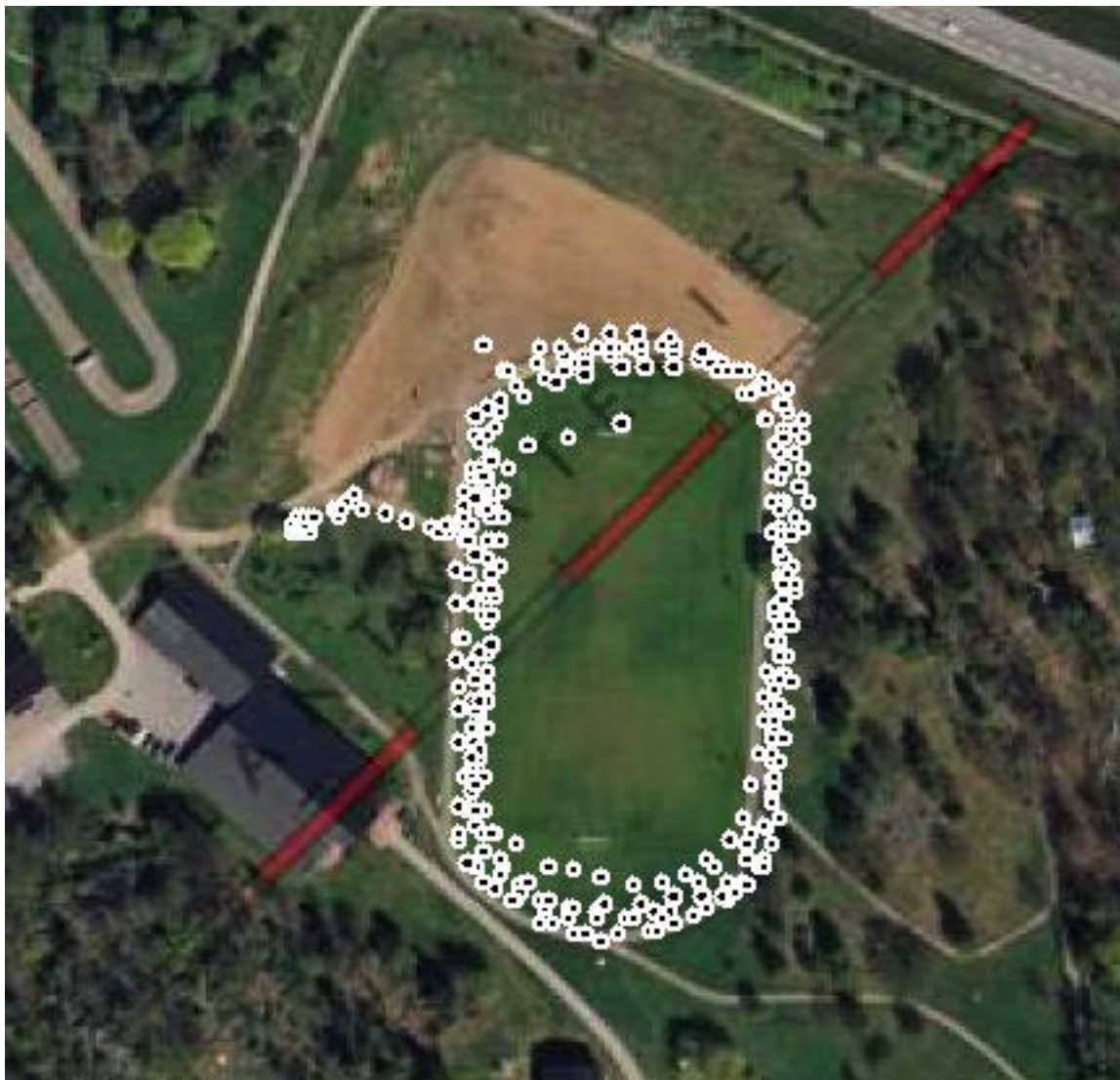
Figur 14 visar beräknad och uppmätt effekt under de sju varven runt löparbanan. Andningsmasken till E-metern togs på vid ca 300 s. Den mätta effekten var relativt konstant under de första sex varven medan effekten ökade med cirka 100W under sista varvet.



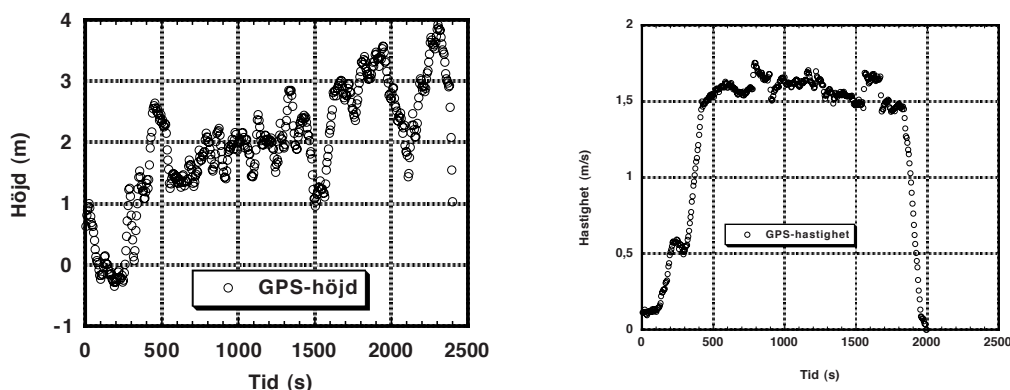
Figur 14. Effektutvecklingen vid förflyttningen runt löparbanan mätt med E-metern (sammanbundna trianglar) och beräknad ur GPS-data (öppna ringar)

Den GPS-beräknade effekten var också relativt jämn under förflyttningen men visade på större ändringar som sammanföll med de beräknade och verkliga hastighetsändringarna (figur 13, höger). Den beräknade effekten uppvisade en höjning på cirka 100 W under det sista varvet medan under den inledande viloperioden, då effekten inte mättes, bör effekten ha varit 100 till 150 W. Medeleffekten under samtliga varv var 282 W när den mättes med E-metern, medan den GPS-beräknade medeleffekten var något högre nämligen 297 W.

Figur 15 visar GPS-angivna positioner vid ett annat tillfälle än den ovan. Sex varv avverkades under mätningen och markerade lägen indikerar något bättre sammanhållna lägen än under föregående mättillfälle. En viss förskjutning finns i östlig led och bruset i öst-västlig ledd tycks ha varit något mindre utefter löparbanans långsidor än det i figur 12. Felet uppskattas till ± 5 meter. Avvikelserna i den södra kortändan var mindre än vid föregående tillfälle.



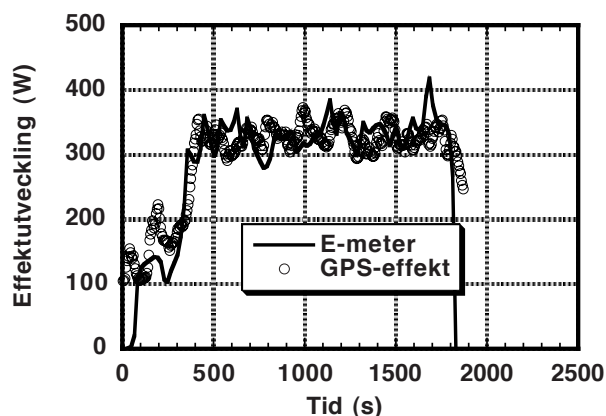
Figur 15. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren vid ett annat tillfälle än den som visas i figur 12 (Terräng se figur 3). Flygfoto: Lantmäteriet



Figur 16. Höjden över startpunkten (vänster) som den erhöles från GPS-mottagaren under förflyttning sex varv runt löparbanan. Hastighetsprofilen (höger) som den beräknades ur GPS-data vid samma förflyttning sex varv runt löparbanan vid Karlbergs slott (figur 1)

Figur 16 (vänster) visar löparbanans höjdprofilen, baserad på data från GPS-mottagarens tryckgivare. Efter en viss insvängning i början av mätperioden, under vilan och innan förflyttningen börjat, låg höjd på omkring 0 meter för att under den fortsatta mätperioden stiga mot cirka 2 meter. Den högra delen av figur 16 visar hastigheten beräknad ur GPS-data under de sex varven runt löparbanan. Hastighetsprofilen uppvisar en större jämnhet än vid tidigare mättillfället (figur 13, höger) och hade medelvärdet 1,57 m/s med en spridning i varvtider på 0,05 m/s. Den klockade hastigheten var 1,58 m/s som medelvärde för de sex varven och spridningen mellan varven var 0,02 m/s.

Figur 17 visar beräknad effekt ur GPS-data och uppmätt effekt från E-metern under förflyttning sex varv på löparbanan vid det tillfället visas i figur 15. E-meterns andningsmask togs på vid tiden 350 s. Uppmätt effektutveckling svängde in mot cirka 330 W där den låg stadigt under hela förflyttningen fränsett ett högt strövärde vid ca 1700 s. Den beräknade effektutveckling låg på samma nivå som den uppmätta med ett medelvärde på 322 W. Den E-metermätta effektutvecklingen var under samma period 328 W.

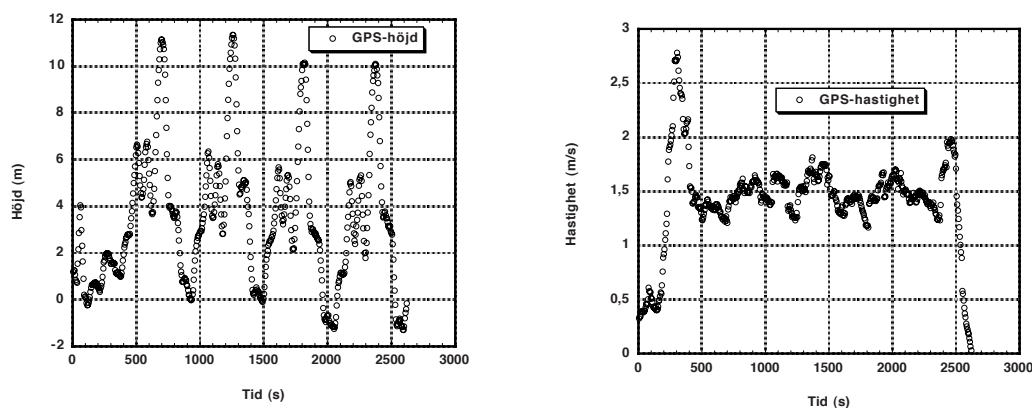


Figur 17. Effektutveckling mätt med E-meter (heldragen linje) och beräknad ur GPS-data (öppna ringar)



Figur 18. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Terrängen är från Karlberg, Solna (Terräng se figur 4). Flygfoto: Lantmäteriet

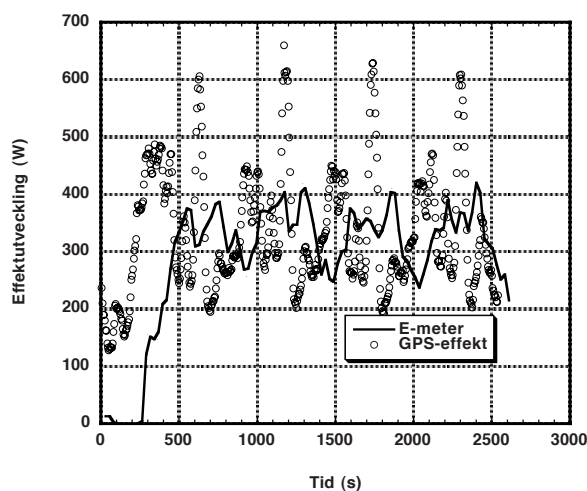
Figur 18 visar GPS-mottagarens positionsangivelse under de fyra varven som avverkades runt promenadvägen. Starten och målgången skedde på samma plats (nedre högra hörnet). Banan har en relativt flack del belägen till höger om den S-formade militära terrängbanan i bildens mitt. Övriga delar av banan är kuperad. Söder och sydväst om bildutsnittet finns byggnader och bergknallar. Figuren visar några tydliga felpositioneringar, exempelvis mitt på terrängbanan och i dess nedre kant. Positionerna i övrigt följer banan men spridningen är relativt stor där ett antal punkter ligger upp till 30 meter från promenadvägen, exempelvis ligger flera ute på vägbanan (Essingeleden, Stockholm) norr om promenadvägen. Medelavvikelsen är uppskattningsvis cirka 15 meter.



Figur 19. Höjdprofilen (vänster) och hastighetsprofilen tagna ur GPS-data vid marsch fyra varv runt promenadslingan.

Figur 19 (vänster) visar banans höjdprofil innehållande några branta avsnitt med maxhöjden 11 meter över startpunkten. Höjdkurvan för varje varv upprepades med god precision under de fyra varven. Dock skedde en nedjustering av höjden under andra hälften av förflyttningen vilket medförde att slutmålet, som var samma som startpunkten, hamnar på cirka -1 meter.

Figur 19 (höger) visar hastighetsprofilen under de fyra varv som banan genomlöptes. Bortsett från ”spiken” vid cirka 300 s, vilken var en artefakt, så registrerade GPS-mottagaren en relativt jämn förflyttningshastighet över de olika varven. En viss nedgång i hastighet med efterföljande ökning kan ses upprepas under de olika varven. Hastighetsändringarna speglar höjdprofilen. Undantaget den första toppen (artefakten) blev medelhastigheten, beräknad ur GPS-data, 1,51 m/s med spridningen 0,03 m/s mellan de olika varven. Motsvarande värden för hastigheten mätt med klocka och mät hjul var 1,48 m/s respektive 0,03 m/s.



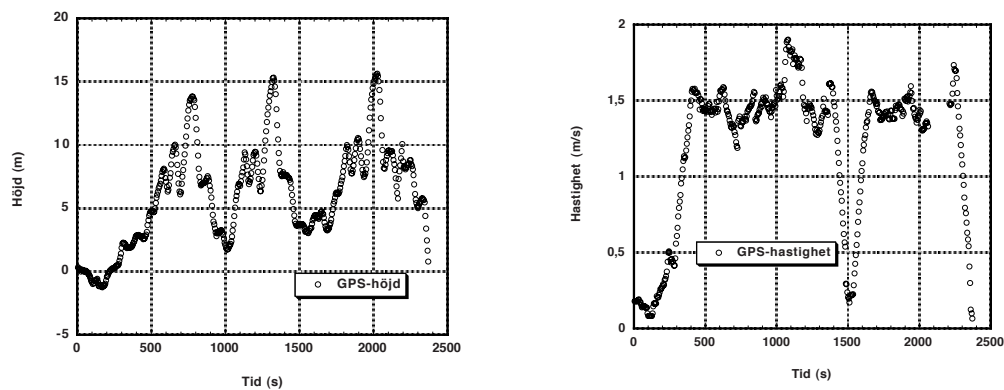
Figur 20. Effektutveckling mätt med E-metern (heldragen linje) och beräknad ur GPS-data under förflyttning fyra varv längs promenadstråket.

Figur 20 visar att den uppmätta effektutvecklingsmönstret under första varvet upprepades under följande varv. Den beräknade effektprofilen speglade höjdprofilen tydligt medan den uppmätta effektprofilen speglade de brantare partierna sämre. Den beräknade effekten var cirka 175 W under vilan, före avmarsch. E-meters andningsmask sattes på vid ca 300 s, omedelbart före avmarsch. Medeleffekten var under perioden 390 s till 2610 s 328 W för E-metern. Motsvarande medeleffekt, beräknade ur GPS-data, var för perioden 200 s till 2540 s 345 W.

Figur 21 visar att positionsangivelserna tycks ha sammanfallit bättre med den verkliga vägen än under det tidigare mättillfället (figur 18). Några tydliga felpositioneringar erhöles inte och spridningen var mindre. Det syns bl.a. i att inga "ringar" finns ute på Essingeleden.



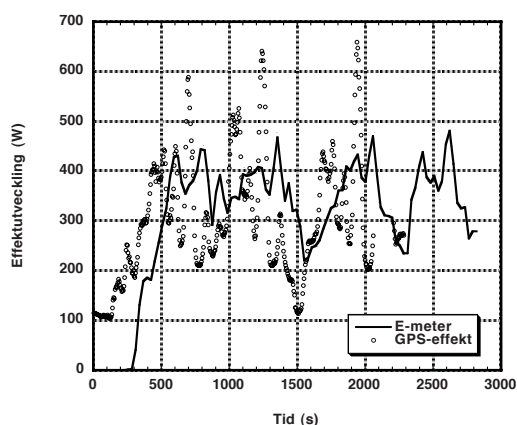
Figur 21. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren vid ett annat tillfälle än den som visas i figur 18. Terrängen är från Karlberg, Solna (Terräng se figur 4). Flygfoto: Lantmäteriet



Figur 22. Höjdprofilen (vänster) längs promenadstråket som det registrerades av GPS-mottagarens trycksensor och hastighetsprofilen (höger) beräknad ur GPS-data.

Den vänstra delen av figur 22 visar att höjdprofilen är reproducerbar under de tre varven om hänsyn tas till att kort paus tas mellan varv två och tre. Lufttrycksändringen under marschen medförde att slutmålet hamnade ungefär två meter högre än startpunkten. Den högra delen av figur 22 visar att hastigheten är jämn under större delen av förflyttningen. "Dippen" vid tidpunkt 1500 s orsakas av ett frivilligt stopp mellan andra och tredje varvet. Sista (tredje) varvet har under sina sista minuter en artefakt som ger en tillfälligt hög men felaktig hastighet under ett par minuter. Den är borttagen ur figuren. Medelhastigheten under de första två varven beräknad ur GPS-data var 1,46 m/s medan den uppmätta hastighet med hjälp av klocka och måthjul gav hastigheterna 1,51 m/s.

Figur 23 visar att överensstämmelse mellan beräknad och mätt effektutveckling var relativt god. Pausen mellan andra och tredje varvet identifieras av de två metoderna. Medeleffekten beräknad från E-meterdata var 343 W under perioden 390 sekunder till 2310 s. GPS-data gav en beräknade medeleffekt av 316 W under perioden 160 s till 2060 s.

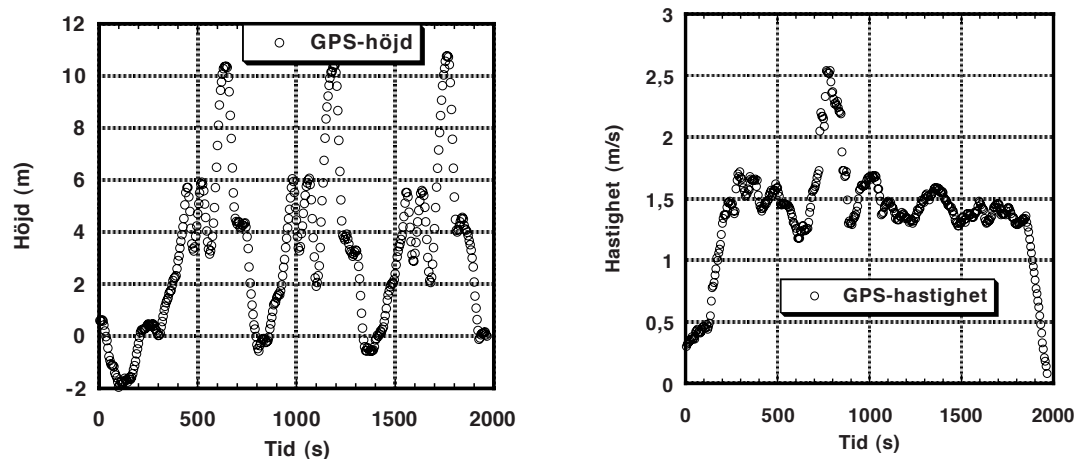


Figur 23. Effektutvecklingen mätt med E-meter (heldragen linje) och beräknad ur GPS-data under de tre varven längs promenadstråket.



Figur 24. De vita ringarna visar positionerna runt promenadvägen som GPS-mottagaren visade var 5:e sekund vid ett tredje tillfälle (jmf figur 18 och 21). Terräng se figur 3. Flygfoto: Lantmäteriet

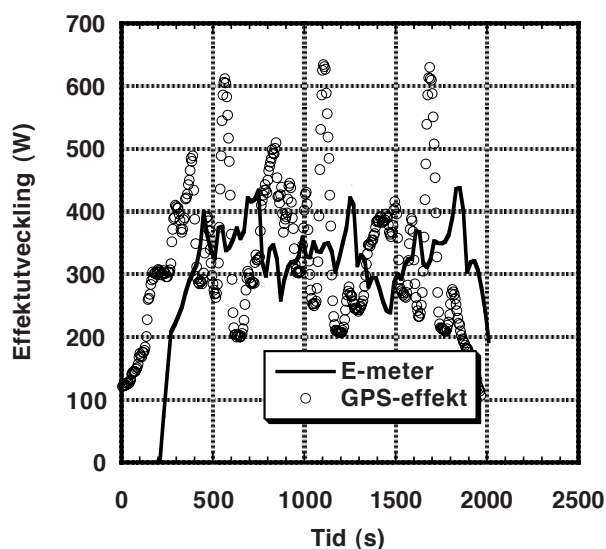
Figur 24 visar att lägesangivelserna följde relativt väl det fysiska promenadstråket. Dock låg startvärdena ca 20 m nordväst om den verkliga platsen. Spridningen vid den norra delen av banan är också relativt stor liksom under ett av varven då södra delen passerades. Som ett genomsnitt för samtliga positionsangivelser är dock avvikelsen inom ± 15 meter från den sanna bansträckningen.



Figur 25. Vänstra figuren visar höjdprofilen vid förflyttning runt promenadstråket som det illustreras av figur 24 och figur 2. Högra figuren visar motsvarande hastighetsprofil.

Promenadstråket genomlöptes tre gånger. Höjdprofilen (figur 25, vänster) upprepades med god noggrannhet, varv för varv. Ingen tryckändring skedde heller under mätperioden så startnivån, efter 0-ställning, sammanföll med slutmålets höjd. Hastigheten visar en relativt jämn profil med en viss spegling av höjdprofilen. Dock uppstod en artefakt vid tidpunkten 750 sekunder som resulterade i alltför hög hastighet. Medelhastigheten var 1,46 m/s beräknad med hjälp av klocka och mät hjul medan den GPS-baserade medelhastigheten var 1,42 m/s, artefakten borträknad.

Effektutvecklingen mätt med E-meter speglade relativt väl den beräknade effektutvecklingen bortsett från att E-metertopparna, liksom tidigare, inte blev lika höga och att viss tidsfördröjning uppstod mellan mätt och beräknad kurva. Medeleffekten under de tre varven var 330 W med E-meter och 318 W beräknad ur GPS-data.

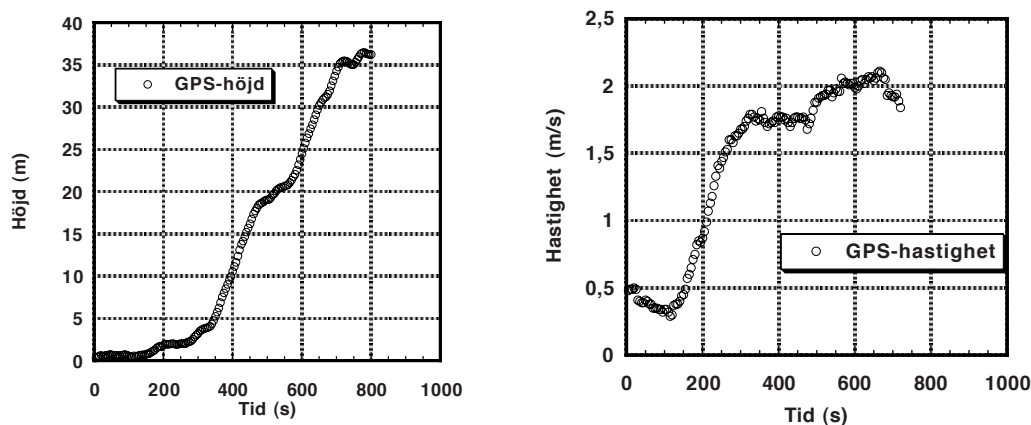


Figur 26. Effektutvecklingen mätt med E-meter (heldragen linje) och beräknad ur GPS-data (öppna ringar).



Figur 27. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Förflyttningssträckan är en asfalterad körväg på Bogesundslandet, Vaxholm. Flygfoto: Lantmäteriet

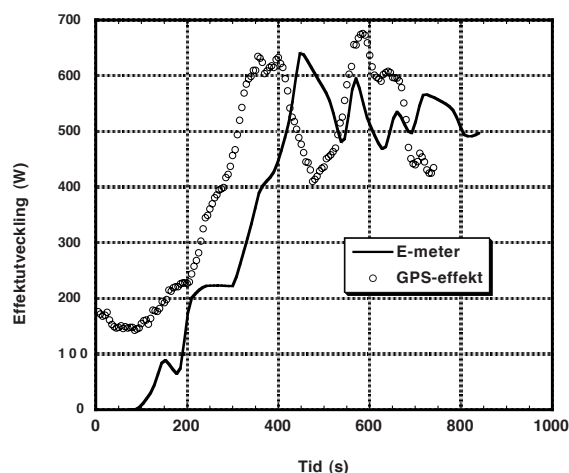
Figur 27 visar GPS-mottagarens position under förflyttning uppför backen, i riktningen sydost. Markeringarna visar att avvikelsen oftast var relativt liten, 5 till 10 meter i östlig riktning, fränsett partiet vid den skarpa kurvan där avvikelsen blev som mest ca 25 meter. Några större avvikelser eller tappade värden i övrigt uppstod dock inte. Förflyttningen skedde enbart i en riktning, uppför backen.



Figur 28. Höjdprofilen erhållen ur GPS-mottagarens trycksensor visas för gång uppför backen (vänster). Högra delfiguren visar hastighetsprofilen baserad på GPS-data vid marsch uppför backen.

Figur 28 (vänster) visar att backen är cirka 35 m hög med en mindre platå mitt på backen. Figuren visar också att vägen såväl startar som slutar med relativt plana sträckor. Hastigheten uppför den långa backen mätt med GPS-mottagaren (figur 28, höger) visade på en ökande hastighet under den inledande platån men att hastigheten planade ut när backen blev brantare. Vid den mindre platån ökade förflyttningshastigheten språngartat för att sedan plana ut under den avslutande branten med efterföljande platå. Medelhastigheten under marschen uppför var 1,77 m/s mätt med måthjul och klocka. Medelhastigheten beräknad ur GPS-data var 1,80 m/s.

Figur 29 visar att effekten ökade starkt i uppförsbacken för att sedan sjunka under den planare delsträckan. Vid den andra stigningen ökade den beräknade effektutvecklingen medan den uppmätta ökningen var mindre tydlig i att spegla höjd och hastighetsprofilerna. Dock blev medeleffekten beräknad från E-meterdata 456 W under perioden 210 till 840 sekunder. Utifrån GPS-data blev medeleffekten 457 W under perioden 100 till 740 sekunder.

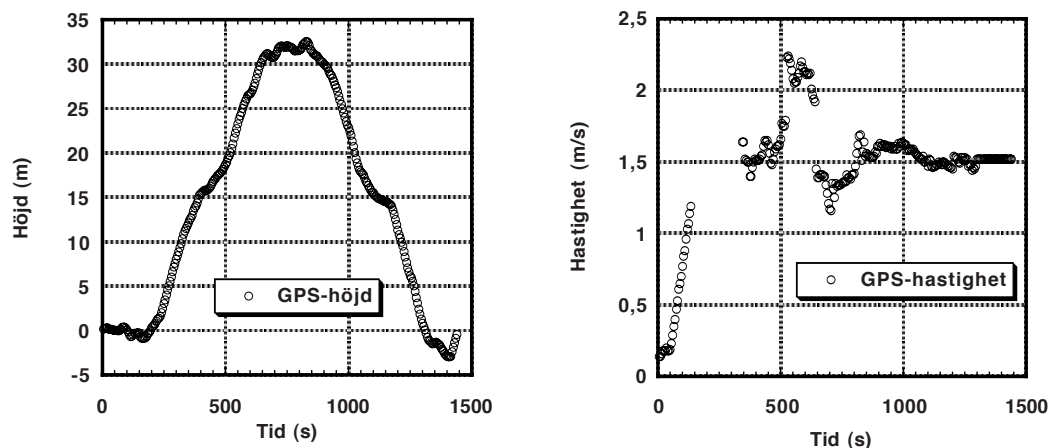


Figur 29. Effektutvecklingen under gång i uppförsbacken (figur 27). De sammanbundna trianglarna visar effekten mätt med E-meter. De öppna cirkelarna visar effekten beräknad ur GPS-data.



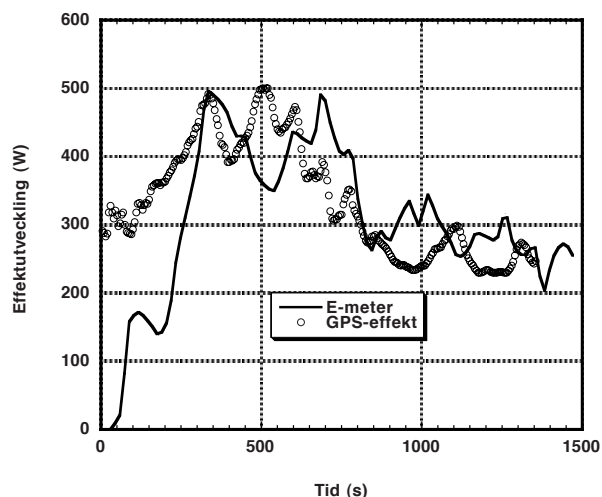
Figur 30. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Terrängen är från Bogesundslandet, Vaxholm, och mätningen skedde vid ett annat tillfälle än det som visas i figur 27. Flygfoto: Lantmäteriet

Figur 30 visar GPS-mottagarens positionsangivelser under ett annat mättillfälle än det i figur 27. Mätningarna gjordes denna gång dock såväl under gång uppför som nedför backen. Mycket god överensstämmelsen med den fysiska vägens sträckning erhöles i båda riktningarna med få undantag. Dock uppstod några avvikelser i början, i backens nedre del (överst på bilden) vilket medförde orimliga hastigheter i dessa punkter.



Figur 31. Höjdprofilen erhållen ur GPS-mottagarens trycksensor visas för gång uppför och nedför backen (vänster). Högra delfiguren visar hastighetsprofilen baserad på GPS-data.

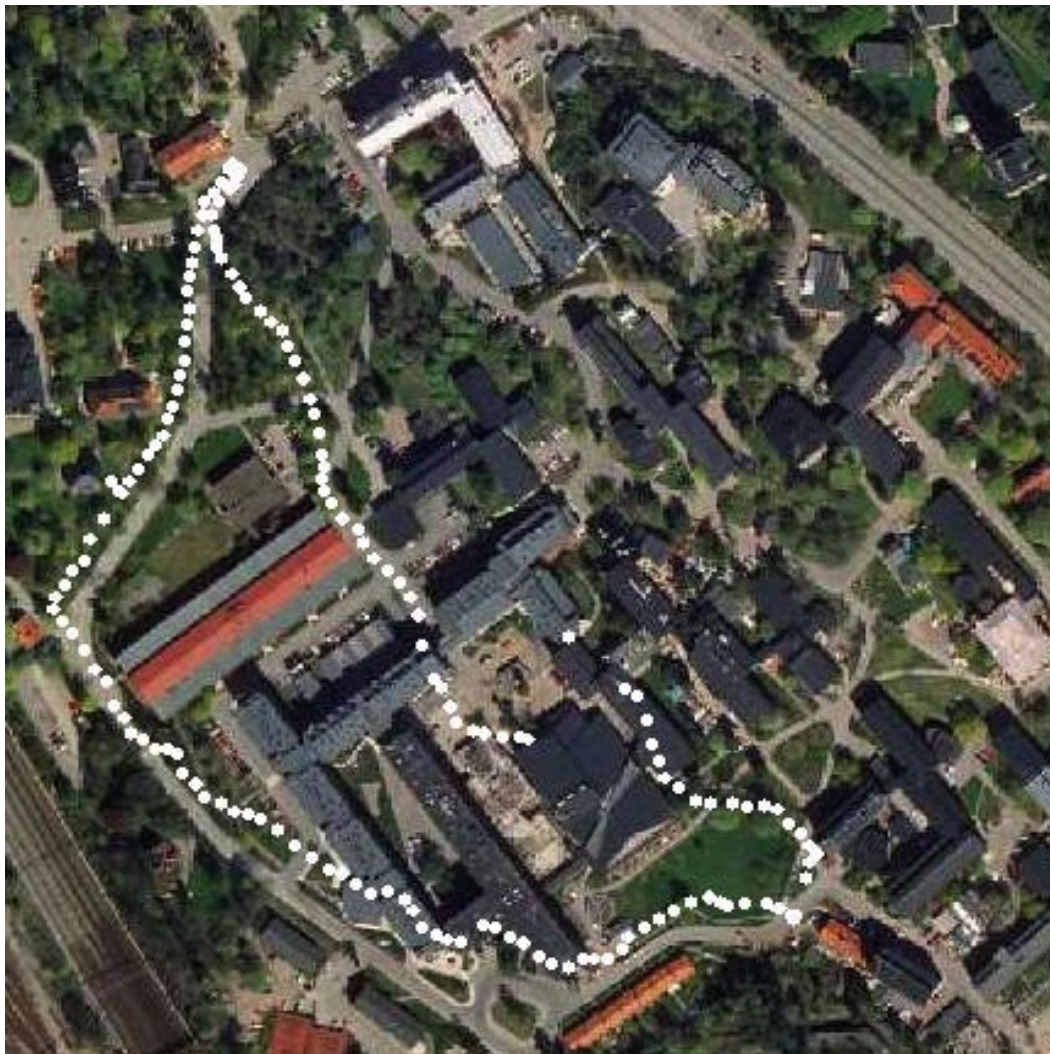
Höjdprofilen visar på god överensstämmelse mellan nivåerna under uppfärd och motsvarande under nedfärd (figur 31, vänster). En viss tryckförändring har dock skett under marschen vilket resulterade i att målgången slutade, skenbart, på en nivå några meter lägre än startpunkten trots att dessa var på samma plats. Hastighetsprofilen uppvisade orimliga värden under del av första stigningen. Dessa har maskats bort i figuren. Även under andra stigningen erhöles något för höga värden, cirka 2 m/s. Däremot vid marsch nedför backen (mot nordväst) uppstod inga orimliga värden utan data gav stabila och rimliga värden. Medelhastigheten var 1,48 m/s när denna beräknades med hjälp av mätjul och klocka. Motsvarande medelhastigheter mätt ur GPS-data var 1,47 m/s när artefakterna, som erhöles under förflyttningen uppför, maskats bort.



Figur 32. Effektutvecklingen uppför och backen på Bogesundslandet. E-meterdata visas med sammanbundna trianglar och effekt beräknad ur GPS-data visas med öppna cirklar.

Figur 32 visar att medeleffekten under marschen uppför och nedför backen. Under de perioder som hastigheten var orimlig har den ersatts med medelhastigheten 1,48 m/s. Effektkurvorna visar på liknande förlopp men en viss eftersläpning sker i E-meterdata bortsett från första delen, en följd av förlorade GPS-data. Medeleffekten under perioden 90 till 1470 sekunder var 320W baserad på E-meterdata. Motsvarande beräkningar gjorda ur GPS-data gav medelvärde 307 W beräknad under perioden 15 till 1355 sekunder inkluderande de korrigeringar som gjordes för hastigheten.

Ett antal mätningar gjordes också bland eller i absolut närhet till höga hus. Nedan visas dock bara resultaten från en registrering och då utan E-meterdata. Figuren 33 visar GPS-mottagarens möjlighet att spåra rätt färdväg när den sträcker sig mitt bland och nära höga hus. Många av husen är 6 våningar höga och färdvägen gick bitvis i smala passager. Start och mål skedde vid den nedre högra delen av bilden (figur 33). Vid den övre delen av slingan uppstod ett hopp på 20 till 25 meter i samband med passage under en överbyggnad (syns inte på bilden). I övrigt tappas inte några eller möjligtvis bara få positioner och sträckningen följde väl den fysiska. I den nedre delen av slingan, i den nedre delen av figuren, passerade dock beräknad färdväg "genom" byggnaden på en sträcka av ca 50 meter.



Figur 33. De vita ringarna visar positionen var 5:e sekund som den mättes av GPS-mottagaren. Terrängen är Karolinska Institutets campus. Flygfoto: Lantmäteriet

Sammanfattningsvis visas i tabell 1 effektutvecklings- och hastighetsresultaten från GPS-beräkningarna, E-metermätningarna, och beräkning från tid och vägsträcka. Effektutvecklings- och hastighetsvärdena är medelvärdesberäknade för hela respektive mätperiod.

Tabell 1. Effektutveckling och förflyttningshastighet beräknad och mätt från E-meter, klocka och måthjul samt GPS-data.

	Effektutveckling (W)	Effektutveckling (W)	Hastighet (m/s)	Hastighet (m/s)
	E-meter	GPS + ekv. (7)+(8)	klocka och måthjul	GPS
Järvafältet 1	367	355		
Järvafältet 2	378	335	1,48	1,49
Karlberg 1, löparbana	282	297	1,43	1,39
Karlberg 2, löparbana	328	322	1,58	1,57
Karlberg 1, promenadväg	343	316	1,51	1,46
Karlberg 2, promenadväg	328	345	1,48	1,42
Karlberg 3, promenadväg	330	318	1,46	1,42
Bogesund 1	456	457	1,77	1,80
Bogesund 2	320	307	1,48	1,47

Diskussion

Banornas sträckningar kunde relativt väl återskapas utifrån mottagen lägesinformation. Figur 6 visar dock att större avvikelser från spåret skedde dels vid starten (bildens nedre kant) där markeringarna missade banan med cirka 40 meter i östlig riktning. Orsaken kan ha varit att starten skedde alltför snabbt efter att GPS-mottagaren kallstartats. För maximal noggrannhet krävs att ett relativt stort antal satelliter har spårats och detta tar viss tid. För full satellituppdatering bör cirka 10 minuter förflöta från det att kallstart skett. Genomgående påbörjades mätningarna innan denna tid förflutit. Sämre noggrannhet uppstod även senare, under förflyttningen, samt vid vändpunkten (figur 6). Speciellt vid den senare positionen var få satelliter tillgängliga trots att vändpunkten låg på en öppen plats. Fenomenet uppstod vid varje mättillfälle och med varierande grad av förlust av precision i lägesinformationen. Varför detta skedde vid detta skenbart gynnsamma läge är oklart. Mer lättförklarat är att lägesbestämningen påverkades av omgivningen i figur 12. Vid södra kortsidan och speciellt vid nedre vänstra hörnet ökade spridningen påtagligt och detta skedde varje gång denna del passerades. Orsaken var att en byggnad och bakomliggande bergknalle (figur 3) skärmade av horisonten vilket fick som följd att någon eller några satelliter med låg elevation föll bort. Om kvarvarande satelliters position inte sprider sig tillräckligt kan försämringen bli avsevärd (APPENDIX). En visuell bedömning av hur väl mottagna positionsdata föll i förhållande till de verkliga lägen tyder på att noggrannheten i lägesangivelsen oftast låg inom uppgivna specifikationer för GPS-mottagare d.v.s. ca ± 15 meter. Avsevärt bättre blir resultatet om differentiell GPS används. Larsson och Henriksson-Larsén (2001) använde dGPS för att följa orienterare på rakbana och i terrängen. De fann att felet i position var cirka två meter i medeltal. En 247 meter lång sträcka i terrängen mätt med mätlina blev med dGPS 246,9 meter. Men om GPS-mottagaren är nära en bergvägg eller huskropp kan fel uppstå genom att positionen beräknas via reflexen i väggen. Detta skedde vid marsch inom KI campus (figur 33) där den uppritade förflyttningssvägg passerade "genom" en byggnad. På grund av reflexen blev det skenbara avståndet något för långt vilket fick effekt att positionen hamnade "för långt in". Figur 33 visar annars att en GPS fungerar förvånansvärt bra även i så svår miljö som mellan höga hus. Felet i position var oftast bara några få meter. Endast då GPS-mottagaren bars genom en smal passage, mellan höga hus, och dessutom under en överbyggnad tappades mottagning under några få sekunder.

Skilnader i antalet mottagna satelliter och dessas signalstyrka varierar under olika tider på dygnet såväl som under skilda dagar (se <http://swepos.lmv.lm.se>). Variationer i atmosfären har betydelse för signalstyrka och därmed antalet satelliter som mottagaren kan låsa mot (APPENDIX). Dessa faktorer gör att identiska förflyttningar inte ger identisk information avseende läge och hastighet. Skillnaden från dag till dag i förmågan att följa en given förflyttningssträcka illustreras tydligt i figurerna 18 och 21 där den förra uppvisar en relativt spridd bild medan den senare följer mycket bättre den fysiska banan med liten spridning mellan de olika varven. Samma fenomen går att se i figurerna 27 och 30 där vid ena tillfället mycket god överensstämmelse erhöles medan vid andra tillfället uppstod en större avvikelse och då i det parti som var mest skydd av tät skog. Där låg dessutom vägen i en sänka omgiven av bergknallar vilket ytterligare försvårade mottagningen. Larsson och Henriksson-Larsén (2001) fann i sin studie med orienterare på terrängbana att kontakten med satelliterna förlorades i genomsnitt 1,6 gånger per mätomgång vilket gav ett fel på 25 m i distans under en ca 4,5 km lång terrängbana när hastigheten var cirka 11 km/h. Motsvarande fel och frekvensen av tappad kommunikation i denna studie var större delvis p.g.a. att dGPS inte användes men framförallt beroende på att en terräng troligtvis var "svårare" vilket var ett aktivt val för att prova teknikens känslighet.

GPS-mottagarens placering på kroppen har också betydelse. Under denna studie var mottagaren placerad på ryggen och cirka 20 cm under axelhöjd. Det gjorde att kroppen dämpade signalerna mer i vissa positioner. Data tyder t.ex. på att vid vissa tillfällen erhöles bättre mottagning vid gång i östlig riktning, det vill säga med GPS-mottagaren fritt exponerad mot väster (detta kunde efteråt bekräftas via internet-sajten <http://swepos.lmv.lm.se>). Av det här skälet hade det varit bättre att ansluta en fritt placerad extern antenn till GPS-enheten. Möjligheten fanns dock inte med den valda mottagaren utan dess förmåga att mäta höjd med hög noggrannhet prioriterades före att välja annan modell med möjlighet att ansluta yttre antenn.

Om spårning misslyckas helt kan ingen hastighet beräknas. Men om antalet satelliter är tillräckligt (men litet) för spårning kan ändå felet i hastighet bli stort vid t.ex. "byte" av satellit. Konsekvensen av felet i hastighet kan bli mycket stort jämfört med felet i position. Felet blir tydligast vid låga hastigheter som vid fotförflyttning. Ett hopp i lägesangivelse med 15 meter kan ha en försumbar betydelse för lägesuppfattningen. Motsvarande hopp kan dock ge en orimlig hastighet. Figur 13 (vänster) visar att även om den verkliga hastigheten är mycket konstant så sprider den beräknade hastigheten på grund av att information försvinner och kommer till. Beräknad hastighet runt löparbanan varierade under varvet, bland annat när nedre vänstra hörnet (figur 3) passerades, på grund av att satelliter avskärmades. Men när hastigheten medelvärdebildas över ett varv, som var 407 meter och tog cirka 4,5 minuter att avverka, blev skillnaden minimal mellan den som erhöles med hjälp av klocka och måthjul jämfört med den från GPS-data. Samma slutsats kan dras från figurerna 18, 21 och 24 där de olika metoderna gav approximativt samma hastighetsmedelvärde trots att bilden av positionen runt bana ger intryck av relativt stor spridning. Medelvärdesbildat över cirka 8 minuter som det tog att avverka varvet på cirka 750 meter blev skillnaden mellan klockad och GPS-beräknad hastighet försumbar. Larsson och Henriksson-Larsén (2001) jämförde klockad hastighet mot den som erhöles ur dGPS. Hastighetsfelet var mycket litet både i terräng och på rakbana. På en 250 meter lång sträcka i terrängen var hastighetsfelet cirka 1% på nivån 11 km/h.

Den GPS-beräknade effektutveckling får ett "brus" som härrör från osäkerheten i beräknad hastighet och banans lutning. Spridningen i effekt, runt löparbanan, blev dock relativt liten när den verkliga hastigheten var konstant. Den faktiska ökningen i hastighet under sjunde varvet (figur 14) identifierades i såväl "GPS-hastighet" som "GPS-effekt" men även i uppmätt värde från E-metern. För att minska bruset i hastighetskomponenten medelvärdesbildades hastigheten genomgående under 30 sekunder vilket var det intervall med vilket E-metern skickade ut data. Medelvärdesbildningen innebär små nackdelar då hastigheten bara ändras lite. Värre är det då stora hastighetsfel uppstår på grund av "hopp" (fel) i lägesdata. En smal "spik" i hastighetskomponenten blir på grund av flytande medelvärdesbildning bred och har inverkan över "onödigt" stor tidsperiod. Att nyttja medianen istället för medelvärde har liten inverkan. Problemet kan minskas om man vet eller kan gissa inom vilket intervall verklig hastighet återfinns. Utanför detta intervall kan då hastigheten sättas till medelvärdet från närliggande period. Detta skulle minska spridningseffekten av orimliga hastigheter. Ju vassare filtreringen desto rimligare kommer terrängens inverkan bli på hastigheten och lutningen. Demczuk (1998) tillgreps också flytande medelvärde trots att dGPS nyttjades. Detta berodde dock delvis på att mätningarna skedde innan USA tog bort det fel som slumpartat adderades till GPS-data för att inte ge civila nyttjare full tillgång till systemets noggrannhet. Idag är troligtvis behovet av medelvärdesbildning avsevärt mindre om dGPS används när kontinuerlig kontakt finns med satelliter och referenskälla. Inom det närmaste året kommer situationen bli ännu bättre genom introduktion av WAAS (USA) och EGNOS (Europa).

Referensdata kommer då att bli tillgänglig utan att särskild tillsats måste skaffas till den (nya) GPS-mottagaren.

Att mottagningsförhållandena ändras mellan olika tidpunkter visas i figur 15. Under detta andra mättillfälle avskärmade byggnaden och bergknallen de tillgängliga satelliterna mindre vilket gjorde att positionerna runt idrottsplanen bättre följde löparbanan. En följd var att hastighetsprofilen blev jämnare vilket syns vid jämförelse mellan figur 13 och figur 16. Hastigheten beräknad ur GPS-data respektive klockad fick också närmast identiska värden där spridning blev mycket liten från varv till varv. Även om antalet satelliter som spåras är "tillräckligt" stort innebär GPS utan differentiell lägesförbättring att ett faktisk stillastående ändå orsaka en "förflyttningshastighet" på grund av bruset i lägesinformation. Brusets inverkan minskas genom medelvärdesberäkning men en resulterande hastighet fås ändå om inte riktningen beaktas, vilket inte var fallet i denna studie. Figur 13 (höger) visar att kvarvarande brus motsvarar en förflyttningshastighet av cirka 0,3 m/s när ingen hänsyn tas till riktningen i rörelsebruset. Den adderar till effekten under "stillastående" som enligt ekvationerna (8) och (9) är 71W. Formlerna ger under rådande betingelser (nakenvikt, börda och lutning) ungefär 150W vid stillastående. Detta "fel" ger dock ett "rimligare" vilovärde än 71W som är för lågt för stillastående. Det motsvara närmast aktiviteten sovande. Lägesfelet som uppstod i denna studie skulle kunna vara mindre, även utan dGPS, om all lägesinformation kunnat bearbetas. Av tekniska skäl insamlades bara lägesinformation då barometrisk data fanns tillgänglig, det vill säga var 5:e sekund i stället för varje sekund. Den här bristen går dock att avhjälpa. I detta avseende är det av betydelse vilket NMEA - protokoll som används. Vissa innehåller mer information än andra och med den standardiserade datahastigheten på 4800 bps hinner inte all information föras över på en sekund. I dessa fall blir uppdateringsfrekvensen 0,5 Hz.

Den barometrisk höjdinformationen tycks vara reproducerbar om de yttre förhållandena är konstanta. Figur 10 (vänster) visar att höjdkurvan speglades väl i vändpunkten och startplatsens nivå sammanföll med slutnivån. I en andra mätomgång (figur 7, vänster) var dock de yttre förhållandena inte konstanta. Sannolikt skedde en lufttrycksförändring under förflyttningen vilken medförde att målnivån hamnade cirka 4 meter lägre än startplatsen trots att dessa var identiska. Det är priset för att få en högre noggrannhet än den som ges från satelliterna vilka ger ett höjdfel på cirka ± 30 meter. Signalbruset från trycksensorn tycks vara relativt litet. Absolutfelet anges till cirka 3 meter och upplösning är 1 meter. Det motsvarar en tryckändring på ca 10 Pa vilket är så litet att GPS-mottagaren måste behandlas med viss försiktighet för att inte felaktiga värden ska uppstå. Speciellt är det viktigt i samband med 0-ställning av trycksensorn. Om detta sker med apparaturen på marken blir höjden plötsligt 1 till 1,5 meter när mottagaren placeras på ryggen. Demczuk (1998) konstaterade att den höjdinformation som erhålls ur GPS-data är oanvändbar för beräkning av terrängprofilens inverkan på effektkravet. Demczuk (1998) valde att nyttja kartdata för höjdberäkningarna vilket dock ställer krav på att en sådan digital databas finns tillgänglig för aktuellt område. Ett flexibla sätt är att nyttja en trycksensor liknande den som användes i denna studie.

Men även om höjdbruset är litet kan det medföra stora fel i beräknad effektutveckling. Orsaken är att åtgången effekt är mycket känslig för "uppförsbackar". Att lyfta 100 kg vertikalt en meter på en sekund kräver en mekanisk effekt av cirka 1000 W. Det motsvarar en metabolisk effekttåtgång hos människan på 4000 W och även om "bruset" sprids ut under 5 sekunder så motsvarar det 800 W i metabolisk effekt. Det är ungefär 80% av den maximala aeroba effekt som genomsnittsoldaten kan utveckla. Bruset i z - led medför att höjddata måste medelvärdebildas. I dessa beräkningar har det skett i två steg, först har höjddata

medelvärdesbildats under 30 s (sex värden) med hjälp av rullande medelvärde. Därefter har en glättning av lutningen skett baserat på tolv värden. Den beräknade effekten blir, efter dessa åtgärder, relativt stabil under stationära yttre förhållanden. Nackdelen är att inverkan av höjdfel sprids över relativt lång tidsperiod. Motsvarande problem med hastigheten är dock större. När förhållandena, hastighet och eller höjdprofilerna, inte är stationära kan mer eller mindre tydliga avvikelser uppstå mellan beräknad och mätt effektutveckling bl.a. genom fördröjningar mellan mätt och beräknad effekt. Denna är dels fiktiv beroende på att medelvärdesberäkningen är gjord osymmetrisk, d.v.s. kommande värden får inverkan i en tidpunkt innan ändringen faktiskt sker. Detta kan förbättras med annan beräknings- och filtreringsteknik. Fördröjningen är också reell. Orsaken är dels apparatteknisk där olika delar i E-metern introducerar fördröjningar, till exempel transporttider för gasprov i slangar och diffusionshastighet i oxygensensorns membran. Den här komponenten ansvarar ungefär för halva fördröjningen medan den andra delen orsakas av fördröjningar i den fysiologiska reaktionen som följer av ändrat effektuttag.

Eftersom E-metern bara mäter oxygenförbrukningen kommer de processer som inte omedelbart kräver oxygen inte att ge utslag i ökad oxygenförbrukning. Behovet uppkommer dock senare eftersom alla effektalstrande processer förr eller senare kräver oxygenförbrukande reaktioner. Följden blir att de korta, branta backarna som tas med nästan oförminskad hastighet (figurerna 19, 22 och 25) inte får så stor genomslag på mätt effekt (figurerna 20, 23 och 26). Däremot kommer det buffrade behovet att höja syreförbrukningsnivån något senare, en effekt som inte blir så iögonfallande. Dock bör medelvärdet av effektutveckling under t.ex. ett varv vara i samma nivå som det som beräknats ur GPS-data. Larsson och Henriksson-Larsén (2001) kombinerade dGPS med en bärbar effektutvecklingsmätare för att bl. a. bedöma hur effektiva olika orienterare var att förflytta sig i terrängen. Författarna påpekar dock att det finns ett problem i att jämföra individer när dessa inte nyttjar aerob och anaerob effektproduktion på identiskt likt sätt. Då kan den som under mätperioden använt högre fraktion aerob effektproduktion tros ha lägre "verkningsgrad" än den som nyttjade de anaeroba processerna i högre grad. Larsson och Henriksson-Larsén (2001) mätte även hjärtfrekvens på orienterarna. Under terränglöpning som inte var "maximal" kunde en tydlig koppling ses mellan dGPS - data i form av hastighet och terrängens höjdprofil och motsvarande fysiska belastning i form av effektutveckling och hjärtfrekvens.

En komplikation med E-meterapparaturen medförde under några tillfällen att jämförelsen gav sämre resultat än normalt eller omöjliggjordes. Komplikationen uppstod när den utandade luften kondenserade i den blandningskammaren som ska ge en representativ oxygenhalt under utandningen. Eftersom mätningarna skedde vid temperaturer kring 0 °C blev kondensationstakten hög. Det medförde vid några tillfällen att vatten täppte till de fina hål som finns i blandningskammaren. Följden blev att gasprovet delvis togs från omgivande luft vilket gav för hög oxygenhalten. Detta tvingade till stopp för torkning av kammaren.

Slutsats

De beskrivna försöken har nyttjat enklaste formen av GPS-teknik, sådan som inte är beroende av lägesreferenser. Det innebär att de presenterade data är applicerbara på geografiska orter där t.ex. dGPS inte är tillgänglig. Presenterade resultat visar att tillgängligheten och kvaliteten på läges- och därmed hastighetsdata är terräng- och tidpunktsberoende. I praktiken kommer det alltid att finnas lägen där information inte kan fås, tillfälligtvis eller mer kontinuerligt. Det senare är inuti hus eller mellan höga byggnader, vilket bara redovisats med ett exempel här. I terrängen finns lägen med hindrande tät skog eller bergknallar som försämrar eller förhindrar mottagning av GPS-signaler. Dock, under den större delen av tiden bör information kunna erhållas som möjliggör tillräcklig god positionsbestämning.

Den nyttjade GPS-mottagaren hade i de flesta mätsituationer en noggrannhet i lägesbestämning som överensstämde med GPS-mottagares i allmänhet, d.v.s. cirka ± 15 meter. Viktigt vid bruket av GPS är att tillräckligt lång tid förflyter från det att mottagaren startats (kallstart) till att informationen nyttjas. Under uppstarten är felet större och tidvis slumpartat. Under normal drift är avvikelserna många gånger mindre än ± 15 meter vilket gör att för allmänt bruk så bör en vanlig GPS ge tillräckligt god lägesuppfattning. Skillnaden mellan beräknad och klockad hastighet var försumbar för de sträckor som var aktuella, d.v.s. cirka 400 meter avverkade under drygt fyra minuter. Överensstämmelsen är sannolikt tillräckligt god för den beskrivna applikationen. Men om kortvariga moment ska studeras bör val av filtreringsteknik studeras vidare. Den speciella GPS-mottagaren som nyttjades i försöken hade en höjdgivare som fungerade tillfredställande och med god reproducerbarhet. Dessutom var den relativt robust. Funktionen att bestämma terrängens lutning från höjddata fungerade bra när filtreringen var tillräcklig. Absoluthöjdinformationen var däremot mindre tillförlitlig eftersom ändringar i lufttrycket direkt påverkade resultaten. Men med den ändringstakt som rådde under försöken har den liten betydelse för beräkningen av terrängens lutning.

Jämförelsen mellan effektutveckling mätt direkt på människa och beräknad från GPS-data utföll med nöjaktighet. Givet att filtreringen av hastighet och lutning är tillräcklig så är överensstämmelsen mellan de två metoderna god till mycket god. Det gäller för medelvärden under ett antal minuter. Om ändringen i fysisk belastning sker snabbt kommer den momentana överensstämmelsen vara dålig. Bara om förändringen i hastighet och/eller lutning är långsam kommer den momentana, beräknade effektutvecklingen stämma överens med den uppmätta. Resultaten tyder sålunda på att den nyttjade beräkningsmodellen fungerar tillräckligt bra såväl i terräng som på plan mark eftersom skillnaden mellan mätt och beräknad effektutveckling var, under de skilda förhållandena, i medeltal ca 3%.

För ett vidare bruk av GPS-mottagare som t.ex. metod för skattning av individens arbetsbelastning måste jämförelse ske för olika markbeläggningar. Kategorisering av denna i termer som kan nyttjas av beräkningsmodellen, måste utvecklas eller befastas där sådan finns. Vid nyttjande av tekniken som en del i fysiologisk monitorering bör lämpliga algoritmer för filtrering av läge och höjd utvecklas. Sammantaget finns möjlighet att, med beskriven teknik, både följa individens förflyttning i terrängen och momentan arbetsbelastning. En bonus är att även t.ex. termisk belastning bör kunna följas/beräknas med hjälp av befintliga modeller. Genom att addera mätning av hjärtfrekvensen kan slutsatser om eventuell förhöjd termisk belastning bättre säkerställas. Någon typ av kärntemperaturmätare, t.ex. av typen "radio – pill" och en integrerande hudtemperaturmätare skulle ytterligare förbättra kontrollen av individens fysiska belastning, en utveckling som ligger inom räckhåll i närtid. Till detta krävs ett gränssnitt till kommande individ/gruppradio för att individens fysiska status ska kunna ingå som en informationsdel i NBF (nätverksbaserade försvaret)

Litteratur

- Bearden, S. E. och R. J. Moffatt. VO_2 kinetics and the O_2 deficit in heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 88, 1407-1412, 2000.
- Demczuk, V. Field validation of an energy expenditure model for walking soldiers. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 22, pp. 381-387, 1998.
- Larsson, P. och K. Henriksson-Larsén. The use of dGPS and simultaneous metabolic measurements during orienteering. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, pp.1919-1924, 2001.
- Margaria, R. *Biomechanics and energetics of muscular exercise*. Oxford, 1976
- Minetti, A. E., C. Moia, G. S. Roi, D. Susta och G. Ferretti. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. *Journal of Applied Physiology*, 93, pp 1039-1046, 2002
- Nagle, F. J., P. Webb och D. M. Wanta. Energy exchange in downhill and uphill walking: a calorimetric study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, pp. 540-544, 1990.
- Pandolf, K. B., B. Givoni och R. F. Goldman. Predicting energy expenditure with loads while standing or walking slowly. *Journal of Applied Physiology*, 43, pp. 577-581, 1977.
- Passmore, R. och J. V. G. A. Durnin. Human energy expenditure. *Physiology Review*, 35, 801-840, 1955.
- Santee, W. R., W. F. Allison, L. A. Blanchard och M. G. Small. A proposed model for load carriage on sloped terrain. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 72, pp. 562-566, 2001
- Soule, R. G. och R. F. Goldman. Terrain coefficients for energy cost prediction. *Journal of Applied Physiology*, 32, pp. 706-708, 1972.
- Terrier, P., Q. Ladetto, B. Merminod och Y. Schutz. Measurement of the mechanical power of walking by satellite positioning system (GPS). *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33, pp. 1912-1918, 2001.
- Wennberg, L. A. och U. Danielsson. A new formula for estimating metabolic rate. *European Journal of Applied Physiology*, 35, 231-234, 1976.
- DeWeir, J. B. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *Journal of Physiology*, 109, 1-9, 1949.

APPENDIX

(fritt efter www.trimble.com/gps)

Vad är GPS

Det Globala PositioneringsSystemet (GPS) är ett världsomfattande radionavigeringssystem baserat på 24 satelliter med tillhörande basstationer. GPS använder satelliterna som referenspunkter för att beräkna positioner med en noggrannhet av några meter. Med en mer utvecklad form av GPS kan positionen beräknas med en noggrannhet i storleksordningen centimeter. Det innebär alltså att varje kvadratmeter på jordens yta kan få en unik adress.

GPS-apparater har genomgått den vanliga miniaturiseringen lik all annan elektronik och innehåller nu bara några få integrerade kretsar och blir därmed så billig att den kan byggas in i en mängd apparater och därmed ge nya tillämpningar. GPS-kretsar inkluderas i fordon, mobiltelefoner, maskiner, till och med i kläder.

GPS-mottagarens funktion

- 1 Grund för GPS är triangelmätning från satelliterna
- 2 För att "triangulera" så mäter GPS-mottagaren avståndet till satelliterna genom att beräkna tiden för radiosignalerna att nå mottagaren
- 3 För att mäta signalöverföringstiden behöver GPS-mottagaren mycket hög tidsnoggrannhet.
- 4 Tillsammans med distansen måste man veta exakt var i rymden satelliterna är.
- 5 Slutligen måste signalerna korrigeras för den fördröjning som uppstår i atmosfären

Triangulering

Antag att avståndet vi mäter till en satellit är 11,000 miles. Den kunskapen begränsar vår möjliga position till ytan av en sfär som är centrerad till satelliten och har en radie av 11,000 miles. Antag att vårt avstånd till nästa satellit är 12,000 miles. Dessa två sfärer skär varandra och någonstans på den linjen befinner vi oss. Genom att mäta avståndet till en tredje satellit som säg är 13000 miles bort som begränsas vår möjliga position till två punkter där sfären skär den tidigare erhållna linjen. Genom att göra en fjärde avståndsmätning kan en av de två punkterna avfärdas. Dock av rimlighetsskäl kan redan vid tre avståndsbedömningar rätt position erhållas för att den alternativa punkten är orimlig i läge eller hastighet. En fjärde mätning krävs dock i praktiken för att uppnå den önskade noggrannheten.

Avståndsmätning från en satellit

Beräkning av avståndet till den satellit som "flyter" omkring i rymden sker genom att mäta hur lång tid det tar för signalerna att nå GPS-mottagaren. Radiosignalerna har en transmissionshastighet av ca 300000 km/s. Genom att mäta tiden för signalöverföringen kan avståndet beräknas. Problemet är kravet på mycket precisa klockor eftersom tiden för signalöverföringen är så kort, storleksordningen 0,06 sekunder när satelliten är rakt ovanför betraktaren. Transporttiden för signalen beräknas, i princip, från fördröjningen i den inkommande signalen jämfört med den som genereras av mottagaren. Den signal som används för beräkning av fördröjningen kallas "Pseudo Random Code". Denna kod är fundamental för GPS-systemets funktion. Koden består av en komplicerad digital kod som närmast kan liknas vid ett brus. Fördelen med detta är att risken att mottagaren ska låsa på en annan signal är försumbar. Varje satellit har sin egen "Pseudo Random Code" vilket gör att mottagaren alltid vet vilken satellit den låser på trots att de sänder på samma frekvens. Signalens komplexitet gör också det svårt för en "motståndare" att störa systemet. Ett annat

värde i att nyttja en komplex kod är att informationsteori kan användas för att förstärka signalen. Det är denna teknik som gör att en GPS-mottagare inte behöver stor parabol för att motta satellitsignalerna. Ett krav som är ofrånkomligt för att kunna beräkna signalen fördröjning är att den genereras exakt samtidigt i mottagaren som i satelliten.

Kritisk tidmätning

Mätningen av transmissionstiden är kritisk. Om tidsangivelsen vore fel på en millisekund kommer felet i position att bli 300 km vilket skulle göra systemet oanvändbart. I satelliterna finns atomur som garanterar precisionen i tidsangivelse. Problemet GPS-mottagaren inte kan innehålla ett atomur av kommersiella skäl. Lösningen är att nyttja ett knep för att mottagaren ska kunna klara sig med ett mindre precist ur. Det knepet är att ta information från en fjärde satellit. Principen är att perfekt information från tre satelliter ger en väldefinierad ort i den tredimensionella rymden men att med mindre precis information från fyra satelliter kan detsamma uppnås. Med informationen från tre satelliter som ger en gemensam punkt fås att information från den fjärde satelliten inte pekar på samma punkt på grund av brister i tidsangivelserna. Tekniken som GPS-mottagaren nyttjar är att leta efter en gemensam korrigeringsfaktor som får de olika positionerna att sammanfalla och därmed har en perfekt synkronisering skett med den universella tiden och en virtuell atomur har skapats i GPS-mottagaren. Med "Pseudo-Random Code" som synkronisering och perfekt tidsangivelse kan avståndet till en satellit beräknas. Men för att göra en triangelberäkning måste dessutom information finnas om var, exakt satelliterna befinner sig i rymden. satelliterna befinner sig på cirka 11000 miles höjd. Det innebär att deras bana kring jorden kan bestämmas med hög noggrannhet. I alla GPS-mottagare finns en tidtabell som exakt vet var på himlen varje satellit finns i varje stund. För att garantera varje satellits position övervakas de av USA:s försvarsdepartement med hjälp av radar med avseende på höjd, läge och hastighet. Felet i satellitbanorna som övervakas skapas av variationer i gravitationen från solen och månen samt strålningstrycket från solen. Felen är vanligtvis mycket små men måste för precisionen tas i beaktande genom korrigering. Korrigeringen går till så att satellitens exakta position reläas upp till satelliten som därigenom kan lägga till en korrigering i den utsända signalen

Felkorrektur

Behov av ytterligare korrigering uppstår på grund av att signaltransmissionen inte sker i vakuum. När GPS-signalen passerar genom jonosfären så påverkar laddade partiklar signalen och påverkan sker också i troposfären orsakade av vattenånga. Följden blir en transmissionshastighet som är lägre än den i vakuum. För en "vanlig" dag (atmosfär) kan påverkan beräknas men eftersom atmosfären varierar ständigt blir korrigeringen mer eller mindre bra. Ett sätt att få information om signalfördröjningen är att använda två signaler med skilda frekvenser som påverkas olika av atmosfären. Det sker bara i sofistikerade GPS-mottagare. Ett annat fel som inte kan åtgärdas på detta sätt är att signalen kan studsas ett antal gånger innan den når GPS-mottagarens antenn. Vissa kvalificerade mottagare kan med hjälp av signalbehandling minska effekten av "studs". Avvikelser i satelliternas förväntade lägen gör att visst fel alltid finns inbakat i beräkningen av GPS-mottagarens position. Om satelliter används som har näraliggande banor blir resulterande felet större än om de satelliter som GPS:en låser på har banor som skiljer sig åt mycket. Felet som kallas geometrisk utspädning av precisionen kan beräknas vilket sker i GPS:en. Strategin som mottagaren nyttjar är att beräkna detta fel och därefter väljer satelliter med banor som ger minst fel. En del av de fel som "ingår" i en vanlig GPS - positionering kan elimineras med så kallad differentiell GPS (dGPS) vilket ger betydligt bättre information om läge och hastighet. Den funktionen har inte använts i denna rapport och diskuteras därför inte här.