

Fallbeskrivningar

för projekt i kursen TAOP61

Kaj Holmberg

HT 2015

Matematiska Institutionen
Linköpings tekniska högskola
581 83 Linköping

30 oktober 2015

1 Returpack

Returpack Svenska AB ansvarar för retursystemet av metallburkar och plastflaskor i Sverige. "Returpack tar emot mer än 1,5 miljarder burkar och PET-flaskor varje år vilket gör Sverige till ett föregångsland gällande återvinning av PET och metallburk." Returpack har över 10 000 kunder (butiker, restauranger etc) som skickar in tomförpackningar. Man betalar ut cirka 1,6 miljoner kr varje år i pant.

Ungefär 3200 av kunderna har pantautomata. Där hämtar Returpack själva tomförpackningarna i speciella bilar, eller så skickas de till grossist eller dryckesleverantör. Ungefär 7000 restauranger etc. är manuella kunder. De skickar in förpackningarna i säckar till grossist eller dryckesleverantör. Returpack samarbetar även med stora festivaler och skid-anläggningar.

Man förväntar sig volymökningar, och vill samtidigt minska miljöpåverkan, främst genom minskade körsträckor. Företagets mål är att återvinna 90% av burk och PET (idag är det ca 88 %) och att sänka kostnaderna för pantsystemet.

Retursystemet är tänkt att vara kostnadsneutralt, vilket betyder att panten som betalas ut ska täcka kostnaderna, och att kostnaderna ska fördelas ut till de olika aktörerna så att alla får täckning för kostnaderna men ingen går med vinst.

Det är ett komplext system som Returpack har att hantera. Varuflödet sker på följande sätt. Det börjar med att konsumenter lämnar in tomburkar och flaskor i butiker. Dessa lagras där en kort tid, förpackas och skickas till en grossist. Där sker ytterligare lagring, och därefter skickas varorna vidare till Returpack. Ett visst flöde går även från butik till bryggeri, som sedan levererar till Returpack.

Hos Returpack samlas pantade burkar och PET-flaskor från Sveriges alla butiker och restauranger. I fabriken sorteras, räknas och balas burkarna och flaskorna. Varje år produceras omkring 14 000 ton aluminium och 19 000 ton PET material. Det återvunna materialet sänds sedan vidare i kretsloppet till andra företag där det används i produktionen av nya burkar och flaskor.

Returpack skickar alltså varorna till råmaterialtillverkare, som återanvänder materialet. Därefter levererar råmaterialtillverkarna material till förpackningstillverkare som gör nya förpackningar. Dessa förpackningar levereras till bryggerier, som skickar dem (med dryck i) till grossister och/eller direkt till butiker. Där inhandlas de av konsumenter, och innehållet dricks upp.

Det finns även en annan sida, nämligen de "monetära" flödena, dvs. den ekonomiska ersättningen. Panten följer förpackningen genom hela flödet. Bryggerier betalar in pant till Returpack för alla burkar och flaskor de levererar till marknaden. Grossisterna betalar pant till importörer och bryggerier. Butiken betalar pant till grossisten och till bryggeriet. Konsumenten betalar pant till butiken vid inköp av drycker.

Butiken betalar sedan pant till konsumenten, när denne lämnar in tomförpackningarna. När tomförpackningen går genom pantmaskinen, bildas en fil som veckovis hämtas av pantmaskinsleverantören för att skickas vidare till Returpack. Returpack ersätter butikerna för

panten. Bryggerier och importörer betalar för administration till Returpack, och Returpack betalar ersättning för hanteringen till butiker.

Om konsumenten inte återvinner tomförpackningen, utan istället kastar den i soporna, så stannar panten hos Returpack. Skillnaden kallas "pantnetto".

Returpack funderar på att ersätta grossisterna roll i flödet med egna mellanlager. Dessutom funderar man på att inte transportera tomförpackningarna i kartonger, utan i plastsäckar, som kan hämtas med något som liknar en sopbil. Detta gör transportererna effektivare och billigare.

Detta material är hämtat från Björklund och Ekdahl (2010), samt från Returpacks hemsida.

2 Laddbar hybrid-elbil

Vi betraktar en laddningsbar elbil av hybridtyp, på engelska “plug-in hybrid electric vehicle”, PHEV, även kallad *laddhybrid*. Det är en bil med både elmotor och bensinmotor, med möjlighet att byta mellan olika funktionssätt. (Beteckningen elmotor är egentligen bättre än elmotor, eftersom batteriet kan laddas upp vid inbromsning.) Det är möjligt att ladda batteriet via ett vanligt eluttag. Fullständig laddning av batteriet tar då flera timmar, och görs exempelvis på natten, när bilen står stilla i garaget. Man kan även ladda batteriet vid speciella laddstationer, och då går laddningen snabbare. Det tar dock fortfarande betydligt längre tid än att fylla på bensin, så man gör inte gärna detta medan man står och väntar. Vi tänker oss endagsutflykter, med laddning innan körturen, och ingen extern laddning under färden.

Det finns ett par olika funktionssätt för hybridmotorn:

1. Bara el.
2. Bara bensin.
3. Blandad, behåller laddningen.
4. Blandad, laddningen minskar i bestämd takt.

Funktionssätt 1 kan användas tills batteriet är tomt, dvs. tills laddningen understiger en viss nedre gräns. Funktionssätt 2 kan alltid användas, men undvikes helst. Funktionssätt 3 innebär att både el och bensin användes. Batteriet laddas automatiskt upp vid inbromsningar, och batteriets laddning hålles hela tiden inom ganska snäva givna gränser. Detta alternativ använder alltså precis så mycket bensin som behövs för att hålla laddningen uppe. Funktionssätt 4 innebär en annan blandning av el och bensin. Batteriets laddning minskar, men inte så fort som i alternativ 1. Det går åt bensin, men inte så mycket som i alternativ 3.

Eftersom man enkelt kan fylla på bensin, beaktar vi inte möjligheten att bensinen tar slut. Det handlar istället om att använda batteriets laddning så “optimalt” som möjligt. Målet är att batteriets laddning ska räcka precis till färden, och ta slut när man kommer fram. Om man gör slut på laddningen för tidigt, så måste man använda mycket bensin under resten av färden. Om man inte använder batteriets laddning helt, innebär det att man har använt för mycket bensin. Ett grundläggande antagande är att bensin är mycket “dyrare” än el, speciellt när man tar hänsyn till miljön.

Eldrift är bättre än bensindrift vid färd med låg hastighet och om det är många start och stopp. Typexempel är stadstrafik, speciellt om det förekommer köer som gör att bilen blir helt stillastående då och då.

För att optimera funktionen under en färd, krävs det att man vet hur färden ska gå. Vi antar därför att man känner till startpunkten och slutpunkten, samt vet precis vilken väg bilen ska ta mellan dessa punkter.

Vi delar upp sträckan som ska köras i små delar, där varje del kan anses ha konstanta egenskaper. Delarna behöver inte vara lika långa. En längre sträcka med 70 km/h som hastighetsgräns, i princip utan trafik hinder och backar, kan ses som en homogen del. I städer är dock en finare uppdelning motiverad.

Självklart innebär diskretiseringen en approximation, dvs. att små fel införs i modellen. Vi kommer därför inte att få den exakt optimala lösningen, utan bara en lösning som är ganska nära optimum (näroptimal). Problemet är dock så svårt att det måste ses om omöjligt att finna exakt optimum. Felet som uppstår av diskretiseringen beror på hur stora delar man delar upp vägen i. Ett fåtal delar ger en mindre modell med större fel, medan ett stort antal mindre delar ger bättre lösning, men samtidigt en mycket större modell, som tar längre tid att lösa. Valet av diskretiseringspunkter måste vara en avvägning av dessa två effekter. (En olösbar modell är inte användbar.)

Antag nu att vi har en given diskretisering, så att vår väg består av ett större antal homogena delar. Varje del har vissa egenskaper, lutning, förväntad medelhastighet, mängd störande trafik, samt sannolikheter för andra störningar. Dessa egenskaper kan omvandlas till olika effekter vid de olika funktionssätten för framdrivningen.

Man kan alltså beräkna hur mycket bensin som går åt vid de olika funktionssätten för varje del av vägen, och likaså hur mycket av laddningen av batteriet som går åt. Vi byter inte funktionssätt inom en vägdel, utan bara i punkterna mellan delarna.

Ett dynamiskt lösningssätt är det som känns mest naturligt. Antag att man har bestämt hur mycket laddning man ska ha kvar i batteriet efter första delen. Då är det enkelt att avgöra hur den första delen ska köras. Detta kan upprepas iterativt.

Detta leder till en lösningsmetod av dynamisk programmeringstyp. Vi bygger upp en stegindelad acyklisk graf där varje nod motsvarar en viss plats på vägen (mellan två delar) och en viss laddning av batteriet (diskretiserat till vissa nivåer).

Att köra en viss vägdel med ett viss funktionssätt innebär en förflyttning framåt ett steg på vägen, men också att förändring av batteriets laddning. Dessutom uppstår en viss kostnad.

Man inför *alla* dessa bågar, vilket modellerar alla möjligheter att ta sig från startpunkten till slutpunkten. Därefter finner man helt enkelt den billigaste vägen från startpunkten till slutpunkten. Denna väg ger lösningen.

Problemet beskrivs översiktligt i Fairley (2009).

En liknande situation uppstår då man kör med en elcykel, där man kan ställa in hur mycket motorn ska hjälpa till, vilken också påverkar hur mycket el som går åt. Här är dock alternativet till eldrift inte besindrift, utan muskelkraft. Man kan notera att en elcykel är tung och mycket onjutbar att cykla med utan elassistans.

3 Sveriges elnät

Detta projekt behandlar Sveriges elnät, nämare bestämt stamnätet. Stamnätet ägs av Svenska Kraftnät, och dess kunder är de elnätsföretag som äger regionalnäten.

Vattenkraft finns huvudsakligen i norra Sverige, medan förbrukningen är störst i södra Sverige. Därför är de långa överföringsledningarna från norr till söder viktiga. Där finns flaskhalsar där överföringskapaciteten är begränsande vid kalla vinterdagar. Dessa flaskhalsar bidrar även till ökade prisskillnader mellan de fyra olika zonerna som inrättades 2011.

Något förenklat kan man se stamnätet som ett minkostnadsflödesproblem, med givna källor och sänkor. Kostnaderna är hanteringskostnader, men är inte så viktiga. Tillåtenhet är dock mycket viktig. Tillgång och efterfrågan uppskattas för en viss tidsperiod. (De kan variera mycket.)

Man kan också tänka sig att använda linjära kostnader för att representera känslighet i nätet, dvs. man inför fiktiva linjära kostnader så att utnyttjandet av nätet blir gynnsamt ur tillförlitlighetssynpunkt när man minimerar dessa kostnader.

Man funderar nu på att bygga nya ledningar och/eller utöka kapaciteten på de befintliga. Syftet är egentligen, löst uttryckt, att öka maxflödet från elproducenter till elkonsumenter, men man kan göra det genom att betrakta minkostnadsflödet (med ovan nämnda fiktiva kostnader). En lägre totalkostnad betyder tillförlitligare flöde.

Kostnaderna för att bygga nya ledningar är ganska stora. Dock uppstår alltid frågan hur dessa kostnader ska diskonteras, dvs. hur en stor utgift idag ska jämföras med framtida inkomster, kanske många år framöver.

El skapas inte bara av vattenkraft. Det finns även kärnkraft, vindkraft och biokraft. Dessutom kan man köpa/sälja el av/till andra nordiska länder. Detta betyder att el inte bara genereras i norra Sverige.

Data till projektet är en förenklad version av verkligheten. Tillgång/efterfrågan är uppskattad och kostnaderna innefattar lämplig diskontering.

Denna information är hämtad från olika hemsidor.

4 Snöröjning

En viktig verksamhet i nordliga länder är snöröjning samt relaterade aktiviteter såsom vägsaltning, vägsandning samt upptagning av sand på våren. Snön måste snabbt och effektivt avlägsnas från gator, cykelvägar, trottoarer, busshållplatser, torg mm. Här förutsätter allmänheten i princip att det ska skötas på ett perfekt sätt. Annars uppkommer otaliga klagomål.

Ett intressant optimeringsproblem är att bestämma hur fordonen ska köra. Det handlar om optimeringsproblem i grafer, dvs. trafiknät, och frågan är när och i vilken ordning de olika vägvägningsstråk ska åtgärdas och av vilket fordon. De fordon som utför snöröjning förbrukar mycket bränsle och ger ganska stora utsläpp av avgaser. Om de kör fram och tillbaka onödigt mycket, fås en avsevärd negativ miljöpåverkan.

Här kan man se kopplingar till brevbärarproblem, eftersom man har ett antal vägsträckor som alla ska röjas. Det hela är lite krångligare, för de flesta gator plogas inte bara en gång, utan två eller tre. Man måste också göra viss röjning av vändplatser och finputsning av korsningar, och det kan ske först efter det att anslutande gator har röjts. Det finns alltså vissa krav på ordningen av de olika uppgifterna.

Andra komplicerande faktorer är att man ofta har flera olika fordon, som går olika fort och kan göra olika saker. Om man ska göra detaljerade planer och också har krav på att vissa fordon inte får plats på samma vägsträcka samtidigt och att det tar mer tid att vända ett fordon än att fortsätta rakt fram, blir modellen mer komplex.

Problemen blir olika beroende på om man studerar snöröjning i städer eller på landsbygden. Man brukar också skilja på fallen att röja under pågående snöfall eller efter avslutat snöfall. Under pågående snöfall måste man återvända till redan röjda vägar och upprepa röjningen. Något förenklat handlar det om att hitta bra rundturer (cykler) för fordonen, som de sedan ska upprepa gång på gång. Snöröjning under pågående snöfall i landsbygd behandlas i doktorsavhandlingen Razmara (2004).

Som tur är slutar det alltid att snöa någon gång. Efter avslutat snöfall behöver varje uppgift bara göras en gång. När alla uppgifter är gjorda, är man färdig. Målfunktionen är ofta att allt ska vara färdigt efter så kort tid som möjligt. Man kan även tänka sig att minimera den sträcka man kör utan att röja (för att komma till platser där det ska röjas), eller minimera avgasutsläppen.

Flera olika aspekter på dessa optimeringsproblem diskuteras utförligt i artiklarna Perrier, Langevin, och Campbell (2006a), Perrier, Langevin, och Campbell (2006b), Perrier, Langevin, och Campbell (2007a), Perrier, Langevin, och Campbell (2007b). Snöröjning i städer behandlas i Perrier, Langevin, och Amaya (2008). Sammanfattningsvis kan man säga att det är komplexa optimeringsproblem som knappast kan lösas till exakt optimalitet. Därför är olika heuristiker av stort intresse.

Viktiga indata är hur lång tid olika operationer tar. För att få reda på detta, utrustas numera alla snöröjningsfordon med GPS, som sparar plats och tid regelbundet. Dessa GPS-spår kan sedan undersökas, för att få fram bättre indata.

Referenser

- Björklund, M., och Ekdahl, B. (2010), “Miljöhänsyn vid uppbyggnaden av ett nytt logistiksystem”, Teknisk rapport LIU-IEI-R-10/0096-SE, Linköping University.
- Fairley, P. (2009), “Software looks at the road ahead to boost hybrid-card efficiency”, *IEEE Spectrum* 02/09.
- Perrier, N., Langevin, A., och Amaya, C.-A. (2008), “Vehicle routing for urban snow plowing operations”, *Transportation Science* 42, 44–56.
- Perrier, N., Langevin, A., och Campbell, J. F. (2006a), “A survey of models and algorithms for winter road maintenance: Part I: System design for spreading and plowing”, *Computers and Operations Research* 33, 209–238.
- Perrier, N., Langevin, A., och Campbell, J. F. (2006b), “A survey of models and algorithms for winter road maintenance: Part II: System design for snow disposal”, *Computers and Operations Research* 33, 239–262.
- Perrier, N., Langevin, A., och Campbell, J. F. (2007a), “A survey of models and algorithms for winter road maintenance: Part III: Vehicle routing and depot location for spreading”, *Computers and Operations Research* 34, 211 – 257.
- Perrier, N., Langevin, A., och Campbell, J. F. (2007b), “A survey of models and algorithms for winter road maintenance: Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal”, *Computers and Operations Research* 34, 258 – 294.
- Razmara, G. (2004), *Snow Removal Routing Problems - Theory and Applications*. PhD dissertation, Linköping University, Sweden. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertation no. 888.