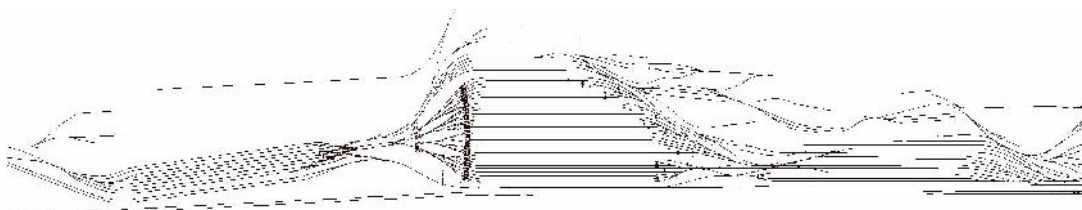


Sammanfattning

Rapporten innehåller kortfattade slutsatser och resultat från en studie genomförd i projektet RANPLAN, som har utförts av SICS Swedish ICT AB på uppdrag av Trafikverket under åren 2010-2013. Fokus är på Hallsbergs rangerbangård, men resultaten är tillämplbara även på andra rangerbangårdar med vall. Datorkörningar visar att blanddragen kan öka kapaciteten på rangerbangårdar väsentligt, mätt i antalet samtidiga tåg som kan hanteras, till en kostnad av en ökad mängd vagnsrörelser. I en jämförande datorstudie av simulering och optimering framgick också att de optimala planerna var betydligt effektivare, mätt i antalet vagnsrörelser, än de simulerade planerna. Resultaten pekar tydligt på att datorstödd optimering av planeringsprocessen för rangerbangårdar både är praktiskt möjligt och kan ge stora effektivitetsvinster.

1 Rangering vid Hallsberg

Hallsbergs rangerbangård är Sveriges största rangerbangård [1], och har varit i fokus under projektets gång. Genom sitt geografiska läge har den blivit navet inom svensk godstransport, och den har anslutningar från alla vädersträck med Laxå i väster, Katrineholm i öster, Örebro i norr och Mjölby i söder [1]. Hallsbergs rangerbangård består av fyra huvuddelar: infartsgruppen, vallen, riktningsgruppen och utfartsgruppen (se figur 1). Infartsgruppen består av 8 spår med en kapacitet på mellan 595 och 693 meter. Infartsgruppen har två spår över vallen, men bara ett används. Riktningsgruppen består av 32 riktningspår med en kapacitet på mellan 374 och 760 meter, och utfartsgruppen har 12 spår med en kapacitet på mellan 563 och 886 meter. Figur 1 visar hur de olika grupperna hänger ihop.



Figur 1 HVS Hallsbergs rangerbangård (ej skalenlig).

1.1 Rangeringsprocessen

Rangeringsprocessen går i korthet till som följer. Ett tåg anländer till Hallsberg på ett ledigt infartsspår, där loket kopplas bort och tåget genomgår ankomstsnyning, innan vagnarna kopplas isär och rullas över vallen till riktningsgruppen. Vi har antagit att förberedelserna tar som mest 40 minuter. Varje inrullning tar sedan i genomsnitt 8 minuter, och bara en inrullning kan ske åt gången.

En vagn rullas över vall till antingen ett riktningspår för tågformering, eller till ett spår avsett för blandning. Spårlängden, som varierar mellan de olika spåren, måste respekteras. Vidare måste alla vagnar på blandspåret innan avgång flyttas, via ett blandspår tillbaka över vall och en direkt följande inrullning, till sitt riktningspår för tågformering. I Hallsberg planeras ett fåtal blanddrag per dygn in, och olika blandspår dras vid olika tider för att inte rulla vagnar onödigt många gånger över vall (se [2] om så kallade blanddrag).



Figur 2 Tidpunkter för vagnar från ett ankommande tåg, som ska rangeras till ett nytt avgående tåg. Observera att blanddrag inte illustreras i bilden.

När alla vagnar i ett avgående tåg har anlänt på ett riktningsspår kan detta dras till utfartsgruppen. Varje vagn måste dock innan detta genomgå bromstest och förberedelser, vilket tar som mest 44 minuter för ett helt tåg. På utfartsgruppen står varje tåg i minst 12 minuter för att alla förberedelser ska hinnas med. Tiderna är hämtade från [2]. I Figur 2 illustreras rangeringsprocessen för en enskild vagn utan blanddrag.

1.2 Problembeskrivning

Problemställningen som avses i rapporten kan formuleras som följer. Givet tidpunkter för valldrag, tidpunkter för inrullning av samtidiga vagnar, tidpunkter för utrullning av tåg, vagnsbokningar på tåg, samt riktningsspårens längd, tilldela ett spår till varje avgående tåg samt eventuella blanddrag för varje vagn så att

1. alla vagnar hinner med sitt tåg,
2. alla tåg avgår i tid,
3. tågens längd ej överskrider spårets längd,
4. de blandade vagnarnas längd vid varje tidpunkt ej överskrider blandspårens längd,

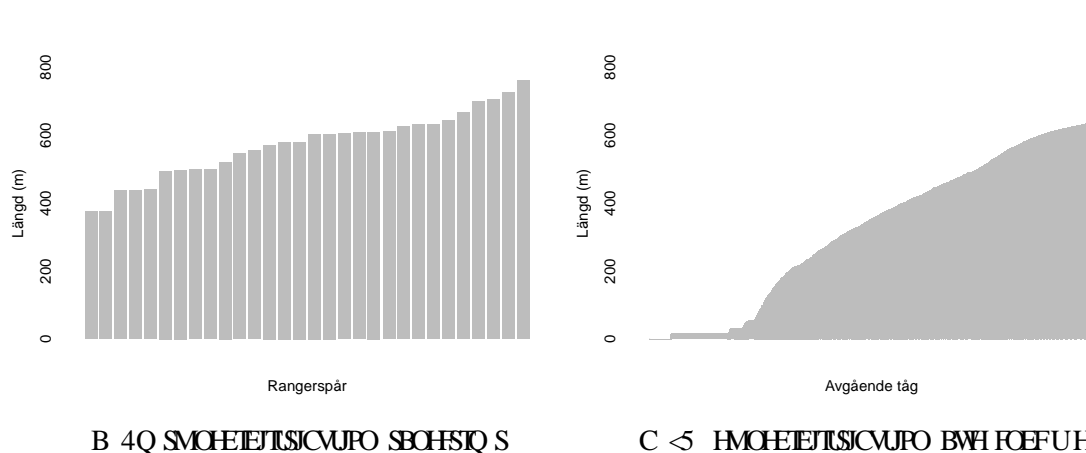
och så att passagera över vall, räknat per vagn, minimeras. I [6] beskrivs andra ansatser för spårplanering på infartsgrupp, utfartsgrupp och planering av när blanddrag skall ske.

1.3 Trafikdata

Trafikdata för perioden 11 december 2010 till 10 maj 2011 användes för utvärderingen. Den data som fanns att tillgå innehöll planerade ankomsttider för inkommande tåg, och planerade avgångstider för avgående. Varje tåg hade också en lista med sina vagnars ID-nummer. Dock saknades data för vagnar med lokala start- eller slutplatser, och likaså finns inte data för vagnar som anlänt eller avgått utanför insamlingsperioden. Det förekom också att samma vagn (vagns ID-nummer) återfanns flera gånger per dag, och likaså fanns det tåg som hade flera ankomst- och avgångstider. Datamängden förbehandlades därför för att rensa bort sådana avvikelser. Vidare togs vagnar som uppfyllde något av de följande tre påståendena bort för att ge ett lämpligt planeringsproblem:

1. Vagnen spenderar mindre än 2 timmar och 20 minuter på bangården.
2. Vagnen spenderar mer än 48 timmar på rangerbangården.
3. Vagnen är sist i ett tågset som är längre än det längsta riktningsspåret.

Regel nummer 1 kommer från att det finns ett standardkrav som rangeroperatören ställer på alla godsoperatörer. Regel 2 syftar till att ta bort vagnar som är på reparation, och därför inte bör ingå i planeringen. Slutligen kortar regel nummer 3 tåg som inte får plats någonstans. Observera att regel nummer 3 inte stryker tåg, utan bara tillräckligt med vagnar för att tåget ska få plats på riktningssgruppens längsta spår. Efter uppstädningen



' JHMS Avgående tågs och rangerspårs längder, obehandlad hel datamängd.

fanns 3606 ankommande tåg och 3653 avgående tåg vilket gav 18 366 vagnsgrupper (totalt 58 725 vagnar). Ankommande tåg hade en längd på mellan 12,8 och 929 meter, och avgående tåg en längd på mellan 12 och 1252 meter (se figur 3). Fem avgående tåg kortades till 760 meter i enlighet med regel 3. Vidare planerades I-gruppen, U-gruppen och tidpunkterna för vallaktiviteter och blanddrag heuristiskt [3] Detta förarbetssteg ledde också till att 0.9% av alla inkommande tåg under 5-månadersperioden fick fördröjas i totalt 84 minuter p.g.a. kapacitetsbrist på infartsgruppen, och 0.1% av de avgående tågen blev på samma sätt försenade i totalt 56 minuter.

2 Kort om komplexitet och optimeringsmetoder

Det kan på goda grunder antas vara svårt¹ att hitta en lösning till rangeringsproblemet som uppfyller alla villkoren (se [4]). I fallet att den "bästa" lösningen efterfrågas så är det utöver det även svårt att verifiera att lösningen är den absolut bästa.

Att kunna visa på en optimal lösning har dock flera positiva aspekter. RANPLAN har fokuserat på att hitta lösningar som garanterar ett minimalt antal ~~WHOTS SMFS~~, definierat som det totala antalet gånger som vagnarna passerar vallen². Eftersom lösningen är minimal så garanteras att inga lösningar finns som kräver mindre antal sådana vagnsrörelser, givet problemförutsättningarna. En analys baserad på optimala resultat ökar också analysens precision, då resultaten garanterat är de minsta som går att producera givet problemförutsättningarna, och därmed är säkra underskattningar av antalet vagnsrörelser.

¹Med "svårt" menas att det kan ta mycket lång tid. Lite förenklat kan man säga att lösningstiden i det generella fallet är exponentiellt proportionerlig mot problemstorleken.

²Modellen antar vissa förenklingar. För detaljer, se till exempel [3]

2.1 Räkneexempel

Ett litet räkneexempel ger följande. Antag att vi vill undersöka alla möjliga rangerplaner för Hallsberg under två dagar. I genomsnitt har vi i vår datamängd 70 tåg, och vi kan anta att varje tåg passar på 16 av de 32 riktningsspåren. Till vår hjälp har vi en superdator med kapaciteten att undersöka och beräkna vagnsrörelser för 10^{12} planer per sekund.

För exemplet ovan kan vi dra slutsatsen att det finns $16^{70} \approx 1.94 \cdot 10^{84}$ olika sätt att allokera spår på. Att då kontrollera alla planer, för att på så sätt säkerställa att vi hittar en optimal plan, skulle ta $6.16 \cdot 10^{64}$ år³.

Dock står utvecklingen troligtvis inte stilla under den tiden. Vi antar därför vidare att vi var annat år köper en ny superdator, som då är dubbelt så snabb som den förra, och fortsätter beräkningen med denna. Det kommer då ta $3.08 \cdot 10^{64}$ år att kontrollera alla planer. Med de metoder som tagits fram i projektet, och beskrivs i bland annat [3], kan problemet lösas betydligt snabbare.

3 Sammanfattning av resultat

I denna del sammanfattas lämpliga resultat från provkörningar på historiska data.

3.1 Jämförelse med simulering

I [5] genomfördes en studie där ett antal enklare regelbaserade strategier för rangering, som föreslagits i diskussion med rangerpersonal, simulerades och utvärderades. Rangerplanerna jämfördes sedan med optimala planer, framtagna med metoder utvecklade i RANPLAN. Resultaten visar att under de förutsättningar som gällde i experimentet ger de lösningar som RANPLAN-metoderna föreslår betydligt mer effektiva rangerplaner (i genomsnitt användes ungefär 1/5 av vagnsrörelserna i den optimala lösningen, jämfört med den bästa simuleringen). Utöver dessa resultat så var de optimerade planerna, till skillnad från de simulerade planerna, också fria från försenade vagnar och överallokerade inte blandspåret.

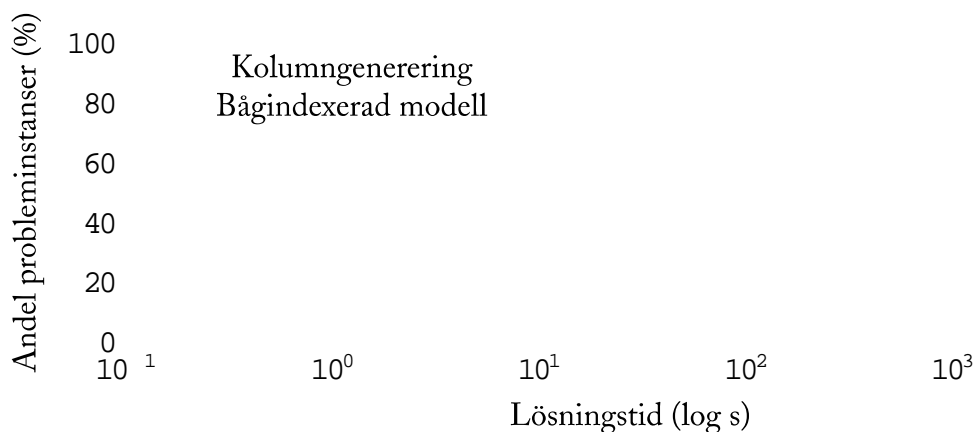
3.2 Optimeringsprestanda

Metoderna kördes på 149 på varandra följande probleminstanser tagna från indata, med en planeringshorisont på tre dagar. På varandra följande planer togs fram genom rullande planering, där en dags rangering i tur och ordning fixerades så att nästa dags planering baserades på nuläget vid midnatt. Resultaten för två algoritmer visas i Figur 4 som en prestandagraf med andelen optimala instanser (Y-axeln) mot lösningstiden (X-axeln). För alla instanser hittades en optimal lösning, vilket tog i genomsnitt 17 sekunder.

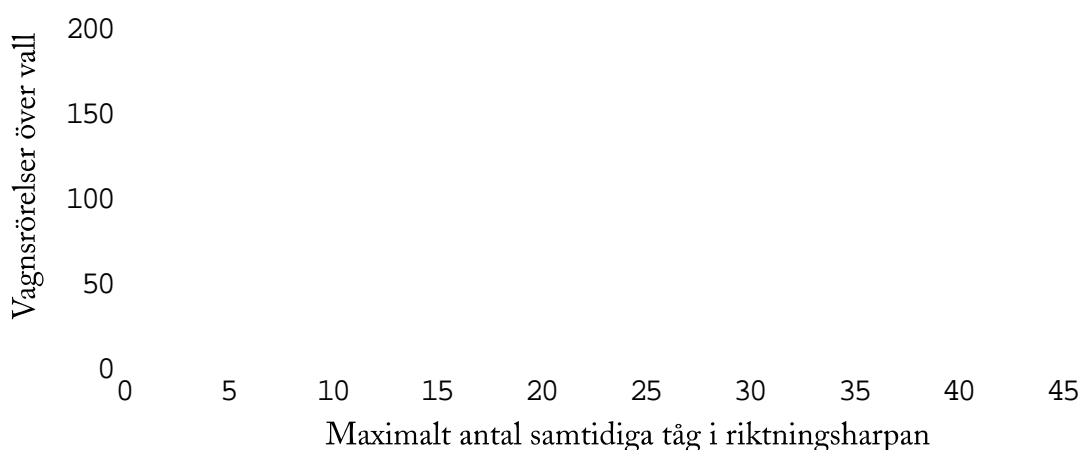
3.3 Kapacitetsundersökning

Ett sätt att undersöka en rangerbangårds kapacitet är att undersöka hur mängden vagnsrörelser ökar som en funktion av trafiken över bangården. I Figur 5 visas den för modellen

³Universum har existerat i c:a $1.38 \cdot 10^{10}$ år.



' JHVS Lösningsprestanda (tre dagars planeringshorisont).



' JHVS Minimalt antal vagnsrörelser mot antalet konsekutiva tåg på riktningsspåren.

minimala mängden vagnsrörelser som en funktion av det maximala antalet samtidigt tåg under en dag för samma probleminstanser som ovan. Figuren visar att inga extra vagnsrörelser var nödvändigt när färre än 30 tåg byggs samtidigt. Antalet vagnsrörelser ökade dock kraftigt när fler än 30 tåg hanterades på riktningsharpan samtidigt, vilket är konsistent med bangårdens utformning.

3.4 Utökningar

Utökningar, som ej beskrivs i denna rapport, har också gjorts för hantering av gruppade avgångar och robust rangering. Vidare har metoderna provkörts på anläggningsdata och preliminära trafikdata från Sävenäs rangerbangård utan problem med exekveringstid, men ytterligare körningar på fullständiga data behövs för en djupare analys.

4 Slutsatser

I projektet RANPLAN har ett flertal optimeringsmetoder tagits fram. De snabbaste av dessa kan hitta optimala⁴ rangerplaner för realistiska planeringshorisonter, med en optimeringstid på sekundbasis. Resultaten kan användas för planering både på kort och lång sikt då exekveringstiden är överkomlig vid realistiska längder på planeringsperioden.

I och med att blandspår utnyttjas skapas också en möjlighet att öka kapaciteten på bangården, mätt i antalet samtidiga tåg som kan hanteras, till en kostnad i form av fler vagnsrörelser. Datorkörningar med optimeringsmodellerna gav att antalet samtidiga tåg var som högst 44 genom detta, jämfört med 32 tillgängliga spår på riktningsgruppen. Körningarna visade också på ett möjligt sådant samband mellan antalet samtidiga tåg på bangården, och modellminimalt antal vagnsrörelser. Ytterligare körningar behövs dock för att avgöra hur denna kapacitetsrelation ser ut på andra bangårdar och med andra trafikeringssupplägg.

Referenser

- [1] Kjell-Åke Averstad. "OMHÖJCHICFISVOICH) BWUFSHSCOHSCOH SE Trafikverket, Februari 2006. Handläggare Bo Hallsberg.
- [2] Kjell-Åke Averstad. 5 SBOUFSCHQVO) BWUFSHSCOHSCOH SE Trafikverket, Maj 2006. Handläggare Carola Alzén.
- [3] M. Bohlin, F. Dahms, H. Flier, and S. Gestrelus. Optimal Freight Train Classification using Column Generation. In 1 SPD U 8 PSLT PQPO" MPSU NJD' QSPEDFTGS 5 SBOUFSUBUPO. PEFMOH 0 QUN BOE4ZUUNT " 5. 04 , volume 25, pages 10–22, Dagstuhl, Germany, 2012. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [4] M. Bohlin, H. Flier, J. Maue, and M. Mihalák. Track Allocation in Freight-Train Classification with Mixed Tracks. In 1 SPD U 8 PSLT PQPO" MPSU NJD' QSPEDFTGS 5 SBOUFSUBUPO. PEFMOH 0 QUN BOE4ZUUNT " 5. 04 , volume 20, pages 38–51, Dagstuhl, Germany, September 2011. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [5] M. Bohlin, S. Gestrelus, and F. Khoshniyat. Simulation of planning strategies for track allocation at marshalling yards. In U *OUFSBU\$ POGPO\$ PNQMBUPOEM FUPET BOE & YQFSINFOUM FBVSNFOU, A Coruña, Spain, July 2013.
- [6] Sara Gestrelus, Markus Bohlin, Per Danielsson, and Martin Aronsson. Teknisk slutrapport för RANPLAN - Beräkningstöd för planering och resursallokering på rangerbangården. Technical report, SICS, 2011.

⁴ur modellens synvinkel.