



**Simulering, scenariomodellering och optimering
av pakethantering på sågverk
-projekt 803-**

Rapport

Micael Öhman

Avd. för Träteknologi
Institutionen för Teknikvetenskap och Matematik
Luleå Tekniska Universitet

Sammanfattning

Här presenteras en fungerande simuleringsmiljö baserad på en representativ sammansättning av en produktmix vad gäller sammansättning av virkeskvalitéer, volymer samt produkternas periodicitet.

Detta simuleringsverktyg i kombination med en analysmetodik baserad på statistisk försöksdesign ger ett kraftfullt verktyg i arbetet med att effektivisera dagens hanteringsarbete som utförs i sågverkens färdigvarulager.

I denna rapport exemplifieras analysmetodiken genom en studie av 3 generella utlastningsstrategier och 4 faktorer som beskriver lagrets hanteringsbehov. Samtidigt bildar resultaten en grund för fortsatt effektiviseringsarbete genom den riktning som pekas ut.

Poängteras bör att simuleringsmodellen endast är ett analysverktyg på forskningsnivå som enbart kan användas för övergripande analyser av samband. Simuleringsverktyget kan därför inte användas i dagligt bruk för att bestämma hanteringen av specifika order eller paket.

Innehållsförteckning

Innehåll

<i>Sammanfattning</i>	- 2 -
<i>Innehållsförteckning</i>	3
1 Inledning	4
1.1 Bakgrund.....	4
1.2 Syfte och mål.....	4
1.3 Avvikelsesrapport, milstolpar	4
2 Metoder och genomförande	5
2.1 Simuleringens längd	5
2.2 Nyckeltal för hanteringsarbetet	6
2.3 Utlastningsstrategi:	6
2.4 Ingående faktorer	7
3 Resultat, slutsatser	8
Slutsatser	8
3.1 Hur man tolkar resultaten, Simulering v.s. Verkligheten:	9
3.2 Skillnad i Antal lyft per Paket:	10
Vilka faktorer är viktiga?	11
3.3 Skillnad i Antal lyft per dag:	12
Vilka faktorer är viktiga?	13
3.4 Skillnad i Transportsträcka per paket:	14
Vilka faktorer är viktiga?	15
3.5 Grafisk presentation av huvudfaktorernas inverkan på resultatet.	16
Hur man läser diagrammen	16
Utlastningsstrategi Fastest.....	17
Utlastningsstrategi Oldest	17
Utlastningsstrategi Random.....	18
BILAGA 1 Statistik nyckeltal	19
BILAGA 2 Kombinationseffekter mellan huvudfaktorer.	22
BILAGA 3 Projektplan	27

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sågverksindustrin upplever sig sakna optimala strategier i sin hantering av färdigvarulagret vilket troligtvis medför merkostnader i form av antalet truckar, personal, underhåll och drivmedel men även underutnyttjande av lagringskapacitet.

Situationen är komplex och det har vuxit fram en rad olika strategier bland sågverken på hur färdigvarulagret ska hanteras, de flesta baserat på någon form av mänskligt beslut baserat på det situationen kräver.

För att råda bot på detta efterfrågas ett verktyg liknade det som tagits fram för råvaruhanteringen på timmerplan, där man med identifierat vilka faktorer som styr hanteringsarbetet.

1.2 Syfte och mål

Vision:

Att skapa en generell modell för generering av beslutsunderlag för förändring av processerna kring pakethantering och utlastningsstrategier på sågverk. Där antalet paketlyft minskas med 20% samt transportsträckan med 10%.

Mål:

Milstolpar att uppfylla enligt projektplan:

1. Simuleringsmodell.
Leverans: Modell som kan nyttjas för hela försöksupptällningen. 1 april
2. Försöksdesign.
Leverans: Plan för hur simuleringarna/fallstudierna ska genomföras.
3. Simulering/fallstudier: Screening = Sammanställning av resultat som visar på framkomliga vägar för optimering
4. Seminarium, TCN mätteknik och inbjudna intressenter.
Leverans: Prioritering av fortsatt arbete.
5. Fördjupat modellarbete.
6. Industriell test av optimerad modell med strategier för beslutsfattande i processen.
7. Slutrapport. Ev demonstration på värdsågverk

1.3 Avvikelse rapport, milstolpar

Av ovanstående lista över milstolpar uppfylls punkt 1, 2, 3 och delvis punkt 7 med denna rapport.

Orsaken till avvikelsen ligger i mjukvaruproblem. Mycket tid har gått åt till att hitta och eliminera motstridiga indata som uppstår under vissa specifika situationer. Detta har medfört att samtliga milstolpar inte hann utföras inom projekttiden.

2 Metoder och genomförande

Simuleringarna baseras på ca 1/5 av Martinsons produktportfölj och 1/5 av producerad volym 2011.

Omfattar 79 slumpmässigt valda produkter

Tilldelas en lagernivå om 1000 paket, vilket motsvarar det verkliga lagringsbehovet för ett sågverk av Bygdsiljums storlek. Denna nivå hålls konstant under simuleringen.

Alla scenarier simuleras med samma slumpvalsfrö, vilket innebär att en lista över utlastningsordningen har slumpats fram och att samtliga scenarier baseras på samma slumpade ordning.

2.1 Simuleringens längd

Simuleringen avbryts när 100 000 m³ har lastats ut. Motsvarar 25 000 paket.

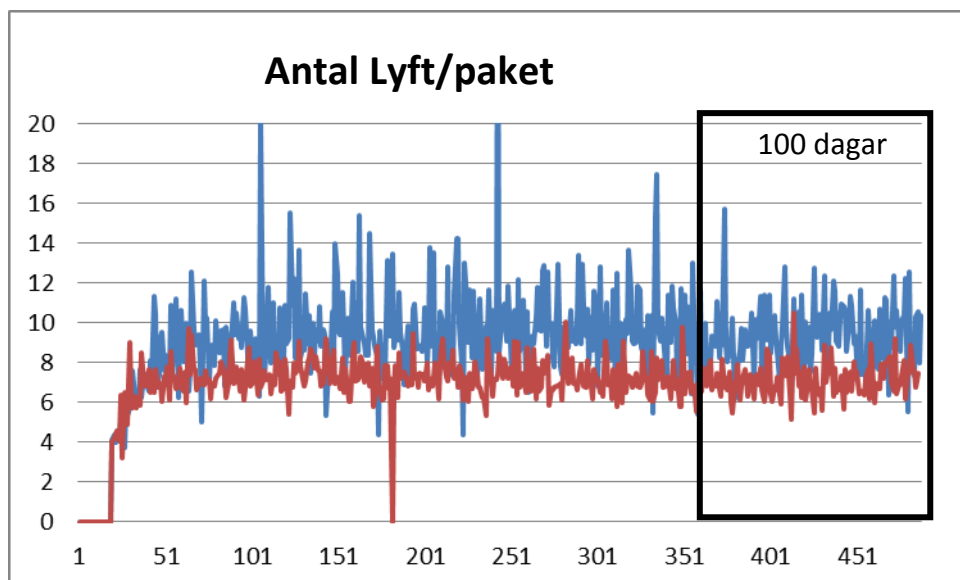
Analysen baseras på varje simulering/testscenarios 100 sista dagar, se figur 1.

Simuleringarna startar med ett tomt lager vilket innebär att det tar tid innan lagret stabiliserats på vad som kan anses vara en normal nivå, denna insvängningstid är olika för varje scenario som testas och därför väljer vi att enbart analysera de 100 sista dagarna.

När analysen börjar har lagret omsatts cirka 80 gånger beroende på scenario, drygt 80 000 m³ har lastats ut. Analysen baseras på antagandet att de fluktuationer som finns under dessa 100 dagar kan betraktas som normala variationer.

I figur 1 visas två exempel på hur denna insvängning ser ut för två olika scenarier och nyckeltalet *Antal lyft per paket*.

Röd är ett exempel på ett bra resultat från utlastningsstrategi *Fastest*. Medan Blå är en av de sämre från utlastningsstrategi *Random*.



Figur 1 Diagrammet visar två olika simuleringar över hur det ackumulerade antalet lyft per paket varierar per dag över simuleringstiden (dagar). Röd kurva visar en av de bättre resultaten medan den blå är en av de sämre.

2.2 Nyckeltal för hanteringsarbetet

I denna rapport används tre nyckeltal/responsvariabler för att beskriva det hanteringsarbete som krävs i respektive scenario för att lasta ut 100 000 m³ virke.

Antal Lyft per Paket:

Är en summering av samtliga lyft, eller flyttar, som paketet genomgår på sin väg från justerverket till lastbil.

Antal lyft/dag:

Är en summering av antal lyft trucken utför per dag. Notera att denna truck endast tar ett paket per gång.

PaketKm:

Beskriver den totala sträckan paketet förflyttas på sin väg mellan justerverk och lastbil. Som förklarats tidigare ska man här fokusera på den proportionella skillnaden mellan de olika scenarierna, för sträckan som redovisas gäller för simuleringsmodellen.

2.3 Utlastningsstrategi:

Här väljs tre renodlade utlastningsstrategier med största möjliga skillnad i upplägg gentemot varandra. Strategierna ska mer betraktas som arketyper och är inte strikt tillämpade av något sågverk i praktiken men väljs i en första simuleringsomgång för att ge en generell bild av sambanden.

Simuleringen är även här förenklad så till vidare att varje paket motsvarar 4 m³ samt att varje utlastningsorder motsvarar 16 paket.

Fastest, det lättast åtkomliga paketet av rätt sorts väljs alltid. Medför att man tar ett paket som står längst ut i lagringsfacket i magasinet vilket oftast blir ett upplägg av typen sist-in-först-ut. Under simuleringen uppstår alltid en viss grad av omplacering av paket som står i vägen som medför att det inte blir en renodlad sist-in-först-ut förfarande.

Random, i denna strategi så sker ett slumpmässigt val av paket som ska väljas. I jämförelse med *Fastest* förväntas denna strategi kräva fler omflyttningar i lagret för att komma åt det valda paketet.

Oldest, är en strategi där man alltid väljer det paket som har längst lagringstid det vill säga först-in-först-ut. Förväntas vara den strategi som kräver absolut mest hanteringsarbete i form av lyft/paket.

Effekten av dessa tre utlastningsstrategier testas med hjälp av ett reducerat faktorförsök på två nivåer och fyra faktorer. För varje utlastningsstrategi körs 9 simuleringar, scenarier, med olika kombinationer av de ingående variablerna. Därmed erhålls ett mått på den enskilda faktorns bidrag till resultatet samt kombinationseffekter vilket möjliggör en rangordning av faktorerna.

Totalt blir det 27 scenarier som jämförs.

Varje scenario bygger på exakt produktflöde vad avser inkommande paket från "justerverket" och utlastade paket till "lastbil" från lagret. Genom en styrd

sammansättning av ingående faktor er kan man beskriva dels hur mycket hanteringsarbete som utförs så väl som faktorernas individuella inverkan på hanteringsarbetet.

2.4 Ingående faktorer

Fackstorlek, avser hur många paket som kan lagras i varje fack.

Låg nivå (-) 24 paket Hög nivå (+) 48 paket

Fyllnadsgrad, avser magasinets fyllnadsgrad

Låg nivå (-) 63% Hög nivå (+) 88%

Innebär att det med 63% fyllnadsgrad finns 1587 paketplatser motsvarande för 88% är 1136 paketplatser i magasinen.

Grad av förutbestämd lagringsplats, SweetSpot, är graden av fast lagringsplats.

Låg nivå (-) 1 SweetSpot Hög nivå (+) 4 SweetSpot

Här motsvarar 1 *SweetSpot* ett flytande lager utan fasta platser för produkterna.

4 *SweetSpots*, här fördelas $\frac{1}{4}$ av produkterna till en $\frac{1}{4}$ av lagret. I simuleringen placeras paketet på en ledig plats så nära denna punkt det går.

Översatt till full skala så innebär 1 *SweetSpot* att de 79 artiklarna får placeras flytande inom $\frac{1}{5}$ av lagerplatserna och motsvarande vid 4 *SweetSpots* blir då inom $\frac{1}{20}$.

Orsaken till att inte fler *SweetSpots* än 4 används är att komplexiteten ökar dramatiskt i simuleringen med ett ökat antal *SweetSpots*.

Att ge varje artikel en fast lagringsplats, fack, innebär att man måste göra avsteg från försöksdesignen vad gäller fyllnadsgrad och fackstorlek, vilket omöjliggör en generell analys av kombinationseffekter.

Ett scenario baserat på fast lagringsplats är dock möjligt att göra, kanske i ett nästa steg, och då ställas i relation till de generella resultat som visas i denna rapport.

Strategi vid omflyttning av paket i lagret, här testas ett scenario där man går från helt slumpmässig placering på en ledig plats, *Random*, till en strategi där man försöker placera produkter av samma typ tillsammans, *SameSP*.

Låg nivå (-) SameSP Hög nivå (+) Random

3 Resultat, slutsatser

Slutsatser

Projektet har resulterat i en fungerande simuleringsmiljö med indata som baserats på ett verkligt sågverks volymer och produktmix.

Projektet har resulterat i en fungerande metodik vid simulering som hantera och efterliknar den komplexitet som råder vid ett sågverk.

Projektet har resulterat i en översikt som beskriver sambandet mellan några generella ytterligheter vad gäller utlastningsstrategi samt hur deras resultat påverkas av fyra faktorer som beskriver lagrets utformning och hanteringsstrategier uttryckt som nödvändigt hanteringsarbete.

Ser man enbart till denna studie så är det genomgående bäst att följa en utlastningsstrategi där man strävar efter att alltid ta det paket som står lättast till. Kräver i genomsnitt lägst hanteringsarbete och uppvisar minst spridning av de strategier som jämförs. En typisk sist-in-först-ut strategi vilket på sikt kommer att ge vissa problem med paket som har legat väldigt länge.

Ett slumpmässigt val av paket kan under vissa förhållanden vara konkurrenskraftig med ovanstående strategi, men det kräver en mer noggrann styrning. Fördelen är att man inte har samma problem med gamla paket. Nackdelen med en slumpstrategi är att den generellt sett dras med en större standardavvikelse vilket gör utnyttjandet av truckarna svårare att dimensionera och planera.

Vad gäller de fyra faktorerna som påverkar lagret, så ser man störst effekt av att minska antalet paket per fack. Ett resultat som är förväntat utifrån andelen lättåtkomliga paket i förhållande till totalt antal paket. Dock ger simuleringarna ett mått på hur viktig denna faktor är i förhållande till de övriga vilket inte är lika lätt att inse utan simulering.

Fyllnadsgraden har viss inverkan och ju mer ledig plats det finns desto mindre hanteringsarbete krävs. Ett utifrån kö-teori förväntat resultat. Här bör man kanske varna för att det kan ligga en viss underskattning av hur viktig denna faktor är. Simuleringen saknar alla störningar och variationer som uppstår i verkligheten vilket gör att det kanske har gått lite för bra för den studerade 88 % nivån.

SweetSpot eller graden av bestämd lagringsplats visar sig ha en nästan försumbar inverkan.

Är ett överraskande resultat som är intressant att studera mer ingående och då utifrån strategier som bygger på ett flytande lager.

Inre Hanteringsstrategi är en betydande faktor som främst påverkar nyckeltalet *PaketKm*. Här jämfördes en slumpmässig utplacering av paketen med en koncentrerande strategi där man ställer samma-vid-samma. Inte helt oväntat så är det senare att föredra och sparar främst körsträcka. Vad gäller antalet hanteringsstillfällen, lyft, är inverkan mer varierande, för utlastningsstrategin *Fastest* så saknar det betydelse medan det för *Random* är absolut avgörande att koncentrera produkter.

Framkom även att det finns en rad kombinationseffekter mellan huvudfaktorerna med betydande inverkan och som man bör ta hänsyn till för bästa möjliga utfall. Dock är det mycket svårt och nästan omöjligt att dra några generella slutsatser om hur de påverkar slutresultatet, här krävs en detaljstudie av varje utlastningsstrategi för sig.

Slutsatsen är att man måste ta hänsyn till samtliga faktorer om man ska optimera och utfallet och även kombinationseffekter.

Generellt sett så ger en stark huvudfaktor en ökad risk för starka kombinationseffekter och vice versa. Dock finns det alltid en viss risk att en svag huvudfaktor i kombination med andra faktorer visar sig ge en betydande inverkan på resultatet. Dock bör det poängteras att detta gäller inom de gränser/intervall på faktorerna som studerats, generellt sett så ska man vara försiktig med att extrapolera resultaten.

Sammantaget så är kombinationen av ett simuleringsverktyg och en försöksdesign ett mycket kraftfullt analysverktyg att ta till om man strävar efter att effektivisera en process.

3.1 Hur man tolkar resultaten, Simulering v.s. Verkligheten:

En simulering är alltid en kraftig förenkling av verkligheten och de resultat som simuleringar visar avviker alltid från verkligheten. Därför ska man undvika att jämföra de nivåer som presenteras här med de man har i verkligheten för de kommer aldrig att bli lika, så även i de resultat som presenteras här. Simuleringen följer strikt de villkor och strategier som har angetts medan en truckförare är mer flexibel och ändrar sin strategi efter situationen och tar hänsyn till betydligt fler faktorer än vad som är möjligt i en simulering. I denna simulering finns det fyra faktorer som påverkar utfallet medan det i verkligheten finns betydligt fler och dessa uppträder dessutom mer slumpmässigt.

Nyttan med simulering ligger i att jämföra skillnader mellan olika alternativ. Med andra ord det går avgöra vilken strategi, kombination av variabler, som ger det bästa utfallet men inte exakt på vilka nivåer man hamnar.

Tolka därför bara skillnader och proportioner mellan de olika scenarierna. Undvik att tolka de absoluta resultaten som presenteras för varje scenario.

I figur 2 till 4 visas resultaten från simuleringarnas 100 sista dagar. Dels ser man den generella skillnaden mellan de tre utlastningsstrategierna, *Fastest* (svart), *Oldest* (orange) och *Random* (röd) men även resultaten från varje enskilt scenario.

Noteras bör att F+---, O+--- och R+--- osv har samma kombination av faktorer och möjliggör en jämförelse av utlastningsstrategierna resultat på en mer detaljerad nivå.

Resultaten och analysen utgår från de tre utlastningsstrategierna; *Fastest*, *Random* och *Oldest*. Där en reducerad försöksplan med de 4 faktorerna körs för varje utlastningsstrategi.

Under varje grupp återfinns gruppnamnet som anges enligt följande:

- Första tecknet, (F, O, R) anger Utlastningsstrategi
- Andra tecknet står för Fackstorlek, (-) motsvarar 24 paket (+) motsvarar 48 paket
- Tredje tecknet står för Fyllnadsgrad, (-) motsvarar 63% paket (+) motsvarar 88%
- Fjärde tecknet står för grad av förutbestämd lagringsplats, (-) motsvarar 1 SweetSpot (+) motsvarar 4 SweetSpots.
- Femte tecknet står för Inre hanteringsstrategi, (-) motsvarar SameSP (+) motsvarar Random.

3.2 Skillnad i Antal lyft per Paket:

Här beskrivs hanteringsarbetet som ackumulerat antal lyft, förflyttningstillfällen, per paket från justerverk till lastbil. Utryckt som ett medelvärde för alla paket som lastats ut per dag under simuleringens 100 sista dagar.

Simuleringarna visar att *Fastets* är den utlastningsstrategi som sammantaget kräver minst arbete.

Oldest kräver i genomsnitt 1,65 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb. *Random* kräver i genomsnitt 1,18 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb.

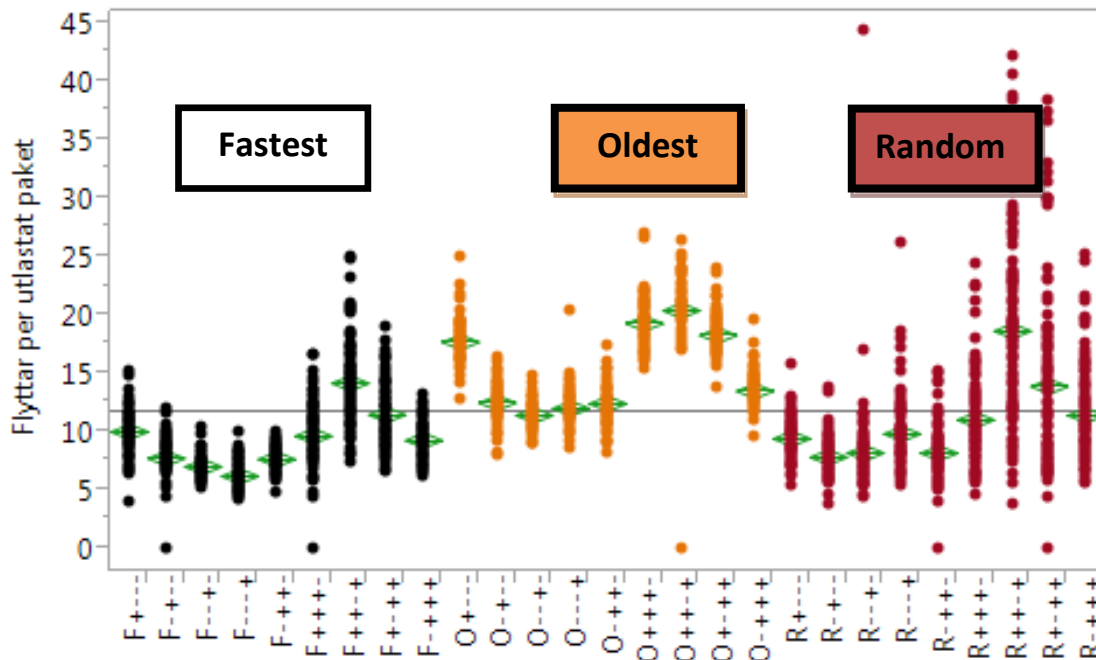
Inom utlastningsstrategin *Fastest* så är scenariot F---+ effektivast och kräver i medeltal en arbetsinsats på 2/3 av vad medelarbeitsinsatsen för samtliga inom utlastningsstrategin *Fastest*.

I figur 2 visas resultaten för varje enskilt scenario, totalt 27 st fördelade på 3 utlastningsstrategier. Varje punkt motsvarar ett dagsmedelvärde och varje scenariobestår av totalt 100 värden.

Den gröna diamantformade figuren visar medelvärdet för gruppen och visas som ett 95%-konfidensintervall.

Svart är utlastningsstrategi *Fastest*, gul är utlastningsstrategi *Oldest* och Röd motsvarar utlastningsstrategi *Random*.

Den svarta heldragna linjen representerar medelvärdet för alla observationer i diagrammet.



Figur 2 Simuleringsresultat som visar hur nyckeltalet antalet *Flyttar per Paket* varierar i de 27 olika scenarier som ingår i analysen. 100 observationer per grupp, gruppmedelvärdet visas som en grön symbol, den heldragna horisontella linjen representerar medelvärdet för samtliga 27 scenarier. Se kapitlet ingående variabler för tolkningsnyckel.
 F + - - -, motsvarar kombinationen *Fastest-48paket-63%-1 SweetSpot-Random*, se kapitlet ingående variabler för tolkningsnyckel.

I figur 1 framgår att *Fastest* är den effektivaste utlastningsstrategin. Lägsta nivåerna och minst spridning. I bilaga 1 redovisas medelvärden och standardavvikelser för respektive scenario. Noterbart är att *Random* under rätt förhållanden kan vara mycket konkurrenskraftig, dock uppvisar den genomgående en något större spridning jämfört med *Fastest* och *Oldest* vilket är en nackdel när man ska dimensionera och planera behov av truckar. *Oldest* är som väntat överlag den mest resurskrävande strategin av de tre. Dock uppvisar strategin en relativt stabil variation som bara är något högre än *Fastest* och betydligt bättre än *Random*.

Vilka faktorer är viktiga?

I tabell 1 rangordnas de ingående faktorerna efter hur viktiga de är för resultatet. Analysen görs separat för respektive utlastningsstrategi. I tabellen visas dels de fyra huvudfaktorerna men även huvudfaktorernas kombinationseffekter. Kontrast är ett mått på hur stor inverkan faktorn har på resultatet i förhållande till övriga. Stort värde innebär stor inverkan och stora skillnader visar hur dominerande faktorn är. I tabellen anges de enskilda faktorernas inverkan även som % av den faktor som uppvisar den starkaste kontrasten i syfte att underlätta tolkningen av den inbördes rangordningen mellan faktorerna.

Resultatet visar tydligt att det finns skillnader mellan utlastningsstrategierna vad avser hur resultatet påverkas av val av faktorer. Noterbart är att graden av förutbestämning, *SweetSpot*, statistiskt inte kan påstås påverka resultaten vad gäller nyckeltalet *Flyttar per utlastat paket*.

Notera att det finns betydande kombinationseffekter för utlastningsstrategierna Fastest och Oldest som bör studeras närmare, se bilaga 2.

Tabell 1 Signifikanta huvudeffekter och kombinationseffekter för respektive utlastningsstrategi. Rangordnad efter andel av den största enskilda faktoreffekten (Kontrast) i %. Faktorer utan siffervärden uppvisar inte signifikant inverkan på nyckeltalet.

Lyft per utlastat paket Faktor	FASTEST		OLDEST		RANDOM	
	Kontrast	%	Kontrast	%	Kontrast	%
Fackstorlek	1,86	100%	3,25	100%	1,85	82%
Fyllnadsgrad	0,77	41%	0,71	22%	0,94	42%
SweetSpot	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Inre Hanteringsstrategi	0,74	40%	0,43	13%	2,24	100%
Fackstorlek*Fyllnadsgrad	-0,14	-7%	- -	- -	0,58	26%
Fackstorlek*SweetSpot	-0,02	-1%	- -	- -	- -	- -
Fackstorlek*Inre Hanteringsstrategi	0,61	33%	- -	- -	0,79	35%
Fyllnadsgrad*SweetSpot	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Fyllnadsgrad*Inre Hanteringsstrategi	- -	- -	- -	- -	0,62	28%
SweetSpot*Inre Hanteringsstrategi	- -	- -	- -	- -	- -	- -

I kapitlet Grafisk presentation av huvudfaktorernas inverkan på resultatet, fås en överblick över hur huvudfaktorn påverkar utfallet. Motsvarande grafisk presentation av kombinationseffekter kan studeras i bilaga 2.

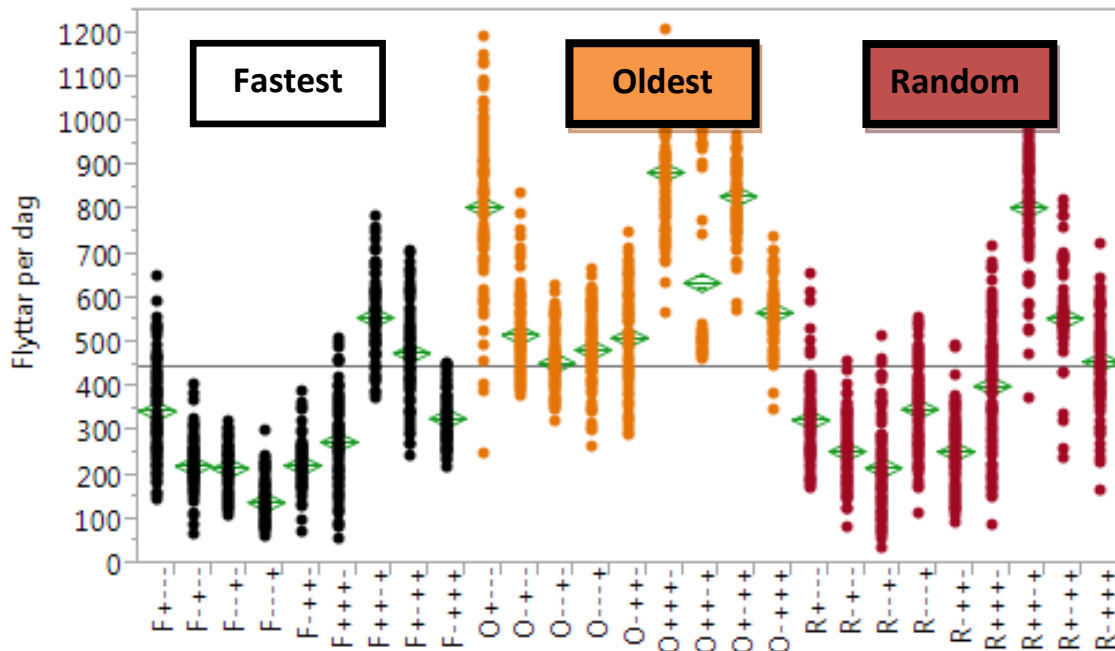
3.3 Skillnad i Antal lyft per dag:

Här beskrivs hanteringsarbetet som utförs av truckarna som ackumulerat antal lyft per dag under simuleringens 100 sista dagar. Illustrerar skillnad i nödvändig arbetsinsats för att hantera de tre utlastningsstrategierna.

Simuleringarna visar att *Fastets* är den utlastningsstrategi som sammantaget kräver minst arbete.

Oldest kräver i genomsnitt 2,04 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb. Random kräver i genomsnitt 1,3 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb.

Noterbart är att det är en likartad trend som för nyckeltalet *Antal Lyft per paket*. Samma scenario, F---+, ger bästa resultatet och kräver här endast 45% av medelarbetsinsatsen för samtliga Fastest-scenarier. Här ska man komma ihåg att trucken endast tar ett paket åt gången och ger därför mycket högre värden än vad man har i praktiken kan förvänta sig.



Figur 3 Simuleringsresultat som visar hur nyckeltalet antalet *Flyttar per Dag* varierar i de 27 olika scenarier som ingår i analysen. 100 observationer per grupp, gruppmedelvärdet visas som en grön symbol, den heldragna horisontella linjen representerar medelvärdet för samtliga 27 scenarier. Se kapitlet ingående variabler för tolkningsnyckel.

Vilka faktorer är viktiga?

I tabell 2 rangordnas de ingående faktorerna efter hur viktiga de är för resultatet.

Analysen görs separat för respektive utlastningsstrategi.

I tabellen visas dels de fyra huvudfaktorerna men även huvudfaktorernas kombinationseffekter.

Kontrast är ett mått på hur stor inverkan faktorn har på resultatet i förhållande till övriga. Stort värde innebär stor inverkan och stora skillnader visar hur dominerande faktorn är. I tabellen anges de enskilda faktorernas inverkan i % av den faktor som uppvisar den starkaste kontrasten.

Resultatet visar tydligt att det finns skillnader mellan utlastningsstrategierna vad avser hur resultatet påverkas av val av faktorer.

Noterbart är att det är nästan samma rangordning på huvudfaktorerna här som för nyckeltalet *Flyttar per paket*. SweetSpot har dock en liten men statistiskt säkerställd påverkan i varje utlastningsstrategi.

Fackstorlek är även här den viktigaste faktorn och kan uppvisa betydande kombinationseffekter med övriga huvudfaktorer förutom SweetSpot. Vilket innebär att man bör beakta *Fackstorlek*, *Fyllnadsgrad* och *Inre Hanteringsstrategi* om man strävar efter att minimera truckarnas arbetsbelastning.

Tabell 2 Signifikanta huvudeffekter och kombinationseffekter för respektive utlastningsstrategi. Rangordnad efter andel av den största enskilda faktoreffekten (Kontrast) i %. Faktorer utan siffervärden uppvisar inte signifikant inverkan på nyckeltalet.

Lyft per dag Faktor	FASTEST		OLDEST		RANDOM	
	Kontrast	%	Kontrast	%	Kontrast	%
Fackstorlek	93,43	100%	140,37	100%	95,01	76%
Fyllnadsgrad	27,46	29%	- -	- -	57,83	46%
SweetSpot	5,94	6%	33,68	24%	-11,98	-10%
Inre Hanteringsstrategi	50,12	54%	-13,73	-10%	124,89	100%
Fackstorlek*Fyllnadsgrad	-19,27	-21%	-11,63	-8%	20,67	17%
Fackstorlek*SweetSpot	- -	- -	32,44	23%	- -	- -
Fackstorlek*Inre Hanteringsstrategi	44,88	48%	-36,22	-26%	34,45	28%
Fyllnadsgrad*SweetSpot	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Fyllnadsgrad*Inre Hanteringsstrategi	41,20	44%	- -	- -	29,56	24%
SweetSpot*Inre Hanteringsstrategi	- -	- -	29,13	21%	- -	- -

I kapitlet Grafisk presentation av huvudfaktorernas inverkan på resultatet, fås en överblick över hur huvudfaktorn påverkar utfallet. Motsvarande grafisk presentation av kombinationseffekter kan studeras i bilaga 2.

3.4 Skillnad i Transportsträcka per paket:

Här jämförs sträckan som paketen förflyttas på sin väg genom lagret. Även här ska man jämföra skillnaden mellan grupperna. De sträckor som redovisas är baserade på simuleringsmodellens lay-out och har ingen koppling till verkligheten annat än att det är rimliga mått på nödvändig lagringsyta.

Simuleringarna visar att *Fastets* är den utlastningsstrategi som sammantaget kräver minst arbete. Dock återfinns den absolut effektivaste scenariot inom utlastningsstrategin *Random*, R---, dock med något större spridning. Noterbart är även att de inbördes ordningarna inom respektive utlastningsstrategi är något mindre likformigt som i de föregående utlastningsstrategierna.

Oldest kräver i genomsnitt 1,6 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb. Random kräver i genomsnitt 1,28 gånger mer hanteringsarbete för att utföra samma jobb.

Inom utlastningsstrategin *Fastest* så är scenariot *F---* effektivast och kräver i medeltal en arbetsinsats på 55% av vad medelarbetsinsatsen ligger på för samtliga scenarier inom utlastningsstrategin *Fastest*, motsvarande värde för R--- ligger på 52%.

I figur 4 visas resultaten för varje enskilt scenario, totalt 27 st fördelade på 3 utlastningsstrategier. Varje punkt motsvarar ett dagsmedelvärde och varje scenariobestår av totalt 100 värden.

Den gröna diamantformade figuren visar medelvärdet för gruppen och visas som ett 95%-konfidensintervall.

Svart är utlastningsstrategi *Fastest*, gul är utlastningsstrategi *Oldest* och Röd motsvarar utlastningsstrategi *Random*.

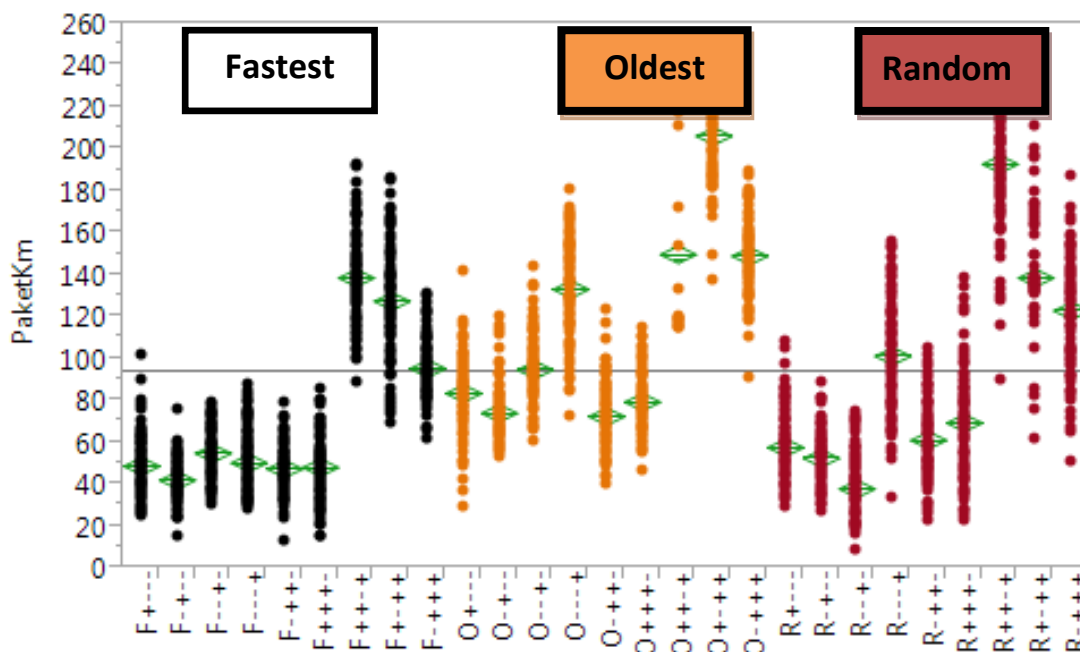
Den svarta heldragna linjen representerar medelvärdet för alla observationer i diagrammet.

F + - - -, motsvarar kombinationen *Fastest-48paket-63%-1 SweetSpot-Random*, se kapitlet ingående variabler för tolkningsnyckel.

Vilka faktorer är viktiga?

I tabell 3 så kan man se att samtliga huvudfaktorer bidrar till resultaten för alla tre utlastningsstrategier. Liksom tidigare så syns tydliga skillnader mellan utlastningsstrategierna i hur viktiga de ingående faktorerna är för resultaten. Här är dock *Inre Hanteringsstrategi* den dominerande faktorn. Även SweetSpot tycks ha en något starkare inverkan än för de tidigare nyckeltalen.

Slutsatsen är även här att man måste ta hänsyn till samtliga huvudfaktorer och inte minst beakta kombinationseffekter för att minimera transportarbetet.



Figur 4 Simuleringsresultat som visar hur nyckeltalet antalet *PaketKm* varierar i de 27 olika scenarier som ingår i analysen. 100 observationer per grupp, gruppmedelvärdet visas som en grön symbol, den heldragna horisontella linjen representerar medelvärdet för samtliga 27 scenarier. Se kapitlet ingående variabler för tolkningsnyckel.

Tabell 3 Signifikanta huvudeffekter och kombinationseffekter för respektive utlastningsstrategi. Rangordnad efter andel av den största enskilda faktoreffekten (Kontrast) i %. Faktorer utan siffervärden uppvisar inte signifikant inverkan på nyckeltalet.

PaketKm Faktor	FASTEST		OLDEST		RANDOM	
	Kontrast	%	Kontrast	%	Kontrast	%
Fackstorlek	13,63	50%	9,45	24%	15,58	38%
Fyllnadsgrad	5,47	20%	-8,40	-21%	13,59	33%
SweetSpot	6,36	23%	9,07	23%	-3,13	-8%
Inre Hanteringsstrategi	27,19	100%	39,17	100%	41,40	100%
Fackstorlek*Fyllnadsgrad	- -	--	- -	--	2,56	6%
Fackstorlek*SweetSpot	-7,38	-27%	2,29	6%	- -	- -
Fackstorlek*Inre Hanteringsstrategi	13,90	51%	9,23	24%	9,19	22%
Fyllnadsgrad*SweetSpot	- -	--	- -	--	- -	- -
Fyllnadsgrad*Inre Hanteringsstrategi	4,27	16%	1,40	4%	5,15	12%
SweetSpot*Inre Hanteringsstrategi	3,26	12%	6,70	17%	-4,13	-10%

I kapitlet Grafisk presentation av huvudfaktorernas inverkan på resultatet, fås en överblick över hur huvudfaktorn påverkar utfallet. Motsvarande grafisk presentation av kombinationseffekter kan studeras i bilaga 2.

3.5 Grafisk presentation av huvudfaktorernas inverkan på resultatet.

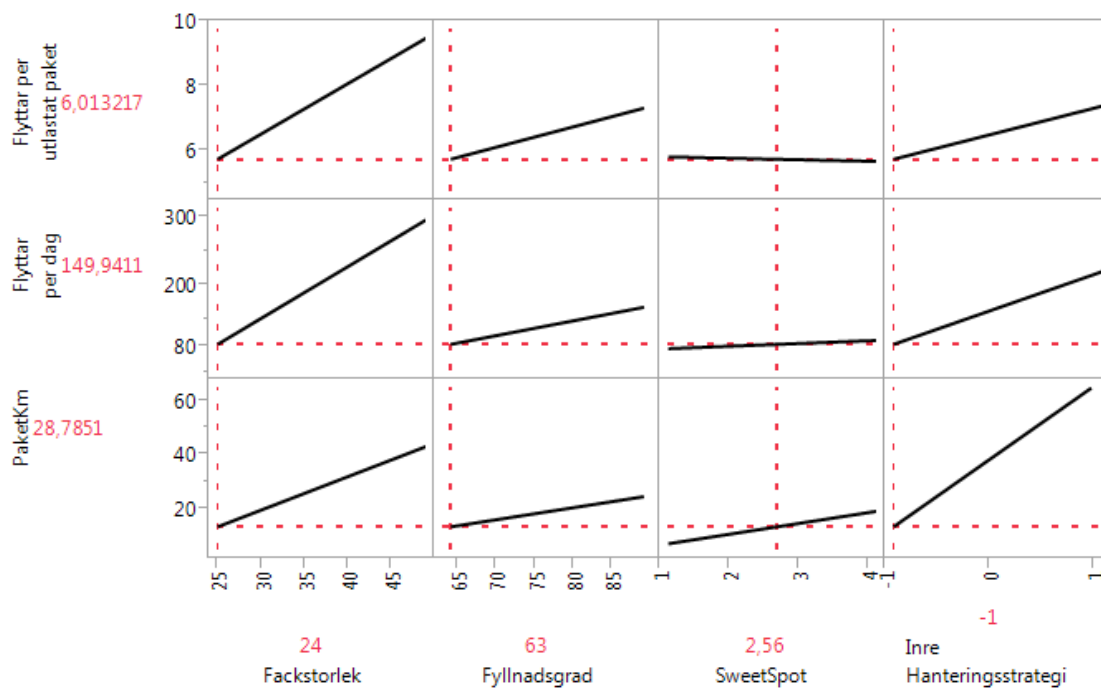
Hur man läser diagrammen

Ska endast läsas radvis.

Lutningen visar hur stor inverkan respektive huvudvariabel har på utfallet, stor lutning innebär stor inverkan. I tabellen i kapitel 3.2 framgår att Fackets storlek är den dominerande faktorn för nyckeltalet *Flyttar per utlastat paket*, och utlastningsstrategin *Fastest* vilket illustreras med en linje med betydligt större lutning än de övriga faktorerna. *SweetSpot* hade mycket liten inverkan och därför är dess linje nästan helt horisontell.

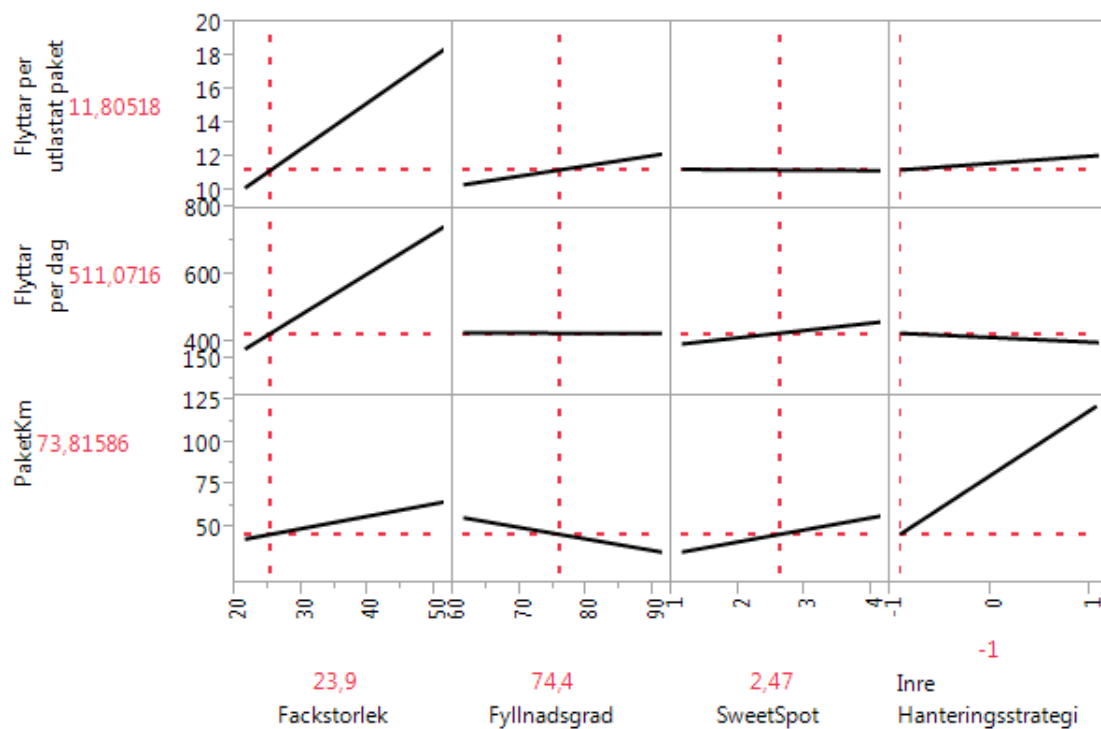
För bästa möjliga resultat, det vill säga låga nyckeltal, ska man försöka finna lösningar som ligger i den lägre änden av linjen. I figurerna har det röda "hålkorset" placerats så att nyckeltalen blir så låga som möjligt. Den röda texten anger vald nivå samt utfall.

Utsattningsstrategi Fastest



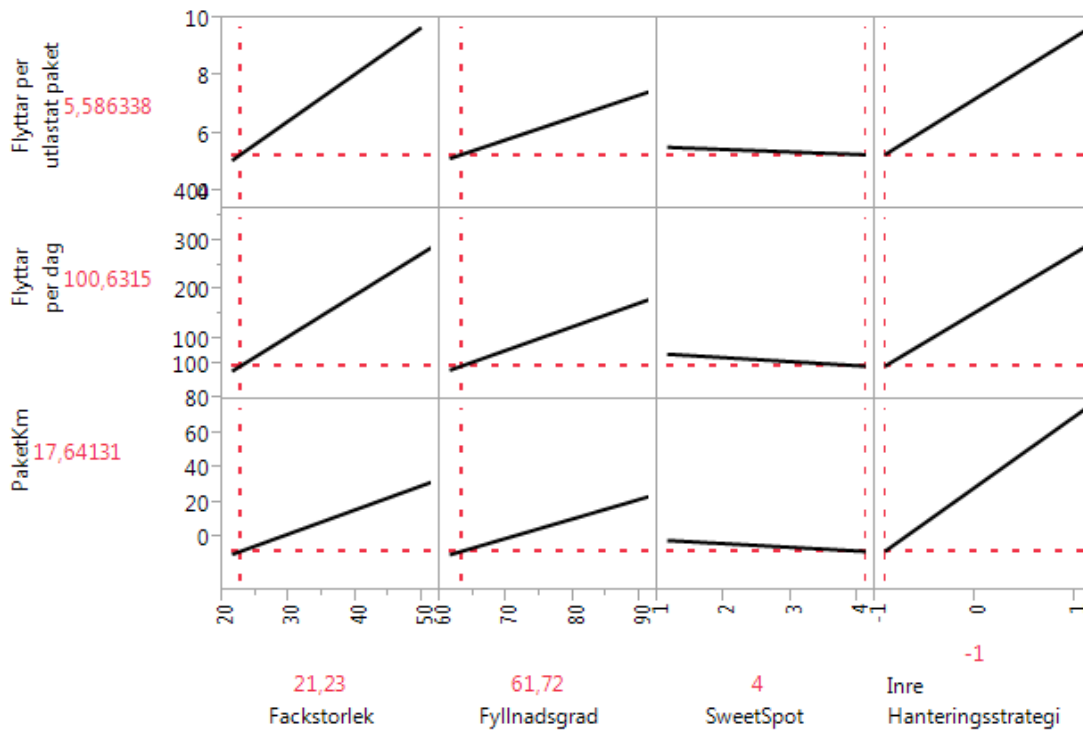
Figur 5 Grafisk presentation över hur de olika faktorerna påverkar nyckeltalen. Stor lutning stor inverkan. Obs figuren ska endast tolkas radvis.

Utsattningsstrategi Oldest



Figur 6 Grafisk presentation över hur de olika faktorerna påverkar nyckeltalen. Stor lutning stor inverkan. Obs figuren ska endast tolkas radvis.

Utlåttningsstrategi Random



Figur 7 Grafisk presentation över hur de olika faktorerna påverkar nyckeltalen. Stor lutning stor inverkan. Obs figuren ska endast tolkas radvis.

BILAGA 1 Statistik nyckeltal

Scenario; totalt 27 scenarier fördelade på 3 utlastningsstrategier och 9 kombinationer av faktorer som påverkar hanteringsarbetet.

Utlastningsstrategi; Antal lyft per paket

Scenario	Antal Obs.	Medelvärde	Standard-avvikelse	Std Err Mean	Undre 95%	Övre 95%
F+---	100	10,0363	1,93148	0,19315	9,653	10,420
F-+--	100	7,7558	1,45397	0,14540	7,467	8,044
F--+	100	7,0406	0,89061	0,08906	6,864	7,217
F---+	100	6,2267	1,08773	0,10877	6,011	6,443
F+++	100	7,6762	0,94474	0,09447	7,489	7,864
F++++	100	9,6717	2,81558	0,28156	9,113	10,230
F+++	100	14,1945	3,49515	0,34951	13,501	14,888
F+++	100	11,4872	2,77169	0,27717	10,937	12,037
F++++	100	9,2963	1,53595	0,15360	8,992	9,601
O+---	100	17,7150	1,72074	0,17207	17,374	18,056
O+--	100	12,5167	1,49385	0,14938	12,220	12,813
O+--	100	11,4476	1,06751	0,10675	11,236	11,659
O---+	100	12,0307	1,37634	0,13763	11,758	12,304
O++-	100	12,4407	1,52217	0,15222	12,139	12,743
O+++	100	19,3107	1,87569	0,18757	18,939	19,683
O++++	100	20,4242	4,73764	0,47376	19,484	21,364
O+++	100	18,3031	1,66568	0,16657	17,973	18,634
O+++	100	13,5225	1,40070	0,14007	13,245	13,800
R+---	100	9,4443	1,67128	0,16713	9,113	9,776
R-+--	100	7,8592	1,60687	0,16069	7,540	8,178
R--+	100	8,2144	4,14231	0,41423	7,392	9,036
R---+	100	9,8568	3,16723	0,31672	9,228	10,485
R++-	100	8,2047	2,27839	0,22784	7,753	8,657
R+++	100	11,0620	3,81866	0,38187	10,304	11,820
R++++	100	18,6640	7,88345	0,78835	17,100	20,228
R+++	100	13,9184	8,05655	0,80566	12,320	15,517
R+++	100	11,4495	4,25973	0,42597	10,604	12,295

Utlastningsstrategi; Antal lyft per dag

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
F+---	100	346,400	108,550	10,855	324,86	367,94
F-+--	100	222,370	56,763	5,676	211,11	233,63
F--+-	100	217,350	49,082	4,908	207,61	227,09
F---+	100	140,120	46,659	4,666	130,86	149,38
F+++-	100	223,750	55,203	5,520	212,80	234,70
F+++-	100	276,900	102,089	10,209	256,64	297,16
F++++	100	558,030	86,202	8,620	540,93	575,13
F++++	100	477,760	102,356	10,236	457,45	498,07
F++++	100	330,130	57,223	5,722	318,78	341,48
O+---	100	807,650	176,457	17,646	772,64	842,66
O+--	100	518,600	90,509	9,051	500,64	536,56
O--+	100	455,500	64,253	6,425	442,75	468,25
O---+	100	485,110	83,758	8,376	468,49	501,73
O+--	100	512,610	112,195	11,220	490,35	534,87
O+++-	100	886,450	133,905	13,390	859,88	913,02
O++++	100	636,840	209,418	20,942	595,29	678,39
O++++	100	832,130	81,498	8,150	815,96	848,30
O++++	100	569,530	70,623	7,062	555,52	583,54
R+---	100	326,260	86,708	8,671	309,06	343,46
R-+--	100	255,770	75,278	7,528	240,83	270,71
R--+	100	218,320	104,363	10,436	197,61	239,03
R---+	100	350,910	98,627	9,863	331,34	370,48
R+++-	100	254,910	81,494	8,149	238,74	271,08
R+++-	100	403,270	139,202	13,920	375,65	430,89
R++++	100	806,540	125,186	12,519	781,70	831,38
R++++	100	556,190	90,328	9,033	538,27	574,11
R++++	100	458,510	101,627	10,163	438,34	478,68

Utlastningsstrategi; Transportsträcka per paket

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
F+---	100	48,812	14,7927	1,4793	45,88	51,75
F-+-	100	42,086	9,6353	0,9635	40,17	44,00
F--+	100	54,927	12,1492	1,2149	52,52	57,34
F---+	100	50,339	14,7644	1,4764	47,41	53,27
F++-	100	47,512	10,7373	1,0737	45,38	49,64
F+++	100	48,181	16,1059	1,6106	44,99	51,38
F+++	100	138,733	20,3874	2,0387	134,69	142,78
F+---	100	127,580	25,6318	2,5632	122,49	132,67
F+++	100	95,426	15,4358	1,5436	92,36	98,49
O+---	100	83,565	17,8128	1,7813	80,03	87,10
O-+-	100	74,127	13,5736	1,3574	71,43	76,82
O--+	100	94,813	16,5340	1,6534	91,53	98,09
O---+	100	133,282	21,9479	2,1948	128,93	137,64
O++-	100	72,525	16,1691	1,6169	69,32	75,73
O+++	100	79,460	14,4370	1,4437	76,60	82,32
O+++	100	149,930	48,3480	4,8348	140,34	159,52
O+---	100	206,514	19,6529	1,9653	202,61	210,41
O+++	100	149,210	18,0170	1,8017	145,64	152,78
R+---	100	57,711	16,3380	1,6338	54,47	60,95
R-+-	100	52,574	13,1340	1,3134	49,97	55,18
R--+	100	37,920	14,3606	1,4361	35,07	40,77
R---+	100	101,401	27,2698	2,7270	95,99	106,81
R++-	100	61,205	17,9432	1,7943	57,64	64,77
R+++	100	69,449	24,8651	2,4865	64,52	74,38
R+++	100	193,121	28,8982	2,8898	187,39	198,86
R+---	100	138,771	22,0295	2,2030	134,40	143,14
R+++	100	123,055	26,3670	2,6367	117,82	128,29

BILAGA 2 Kombinationseffekter mellan huvudfaktorer.

I diagrammen nedan ges en visuell överblick över hur samverkans effekterna påverkar nyckeltalen.

Hur tolka diagram:

Om de röda och blå linjerna inte är parallella så är det ett tecken på att huvudvariablerna interagerar med varandra, kombinationseffekt, och påverkar resultatet på ett annat sätt än respektive huvudfaktor gör var för sig.

Ju större skillnad i lutningar desto större interaktion föreligger.

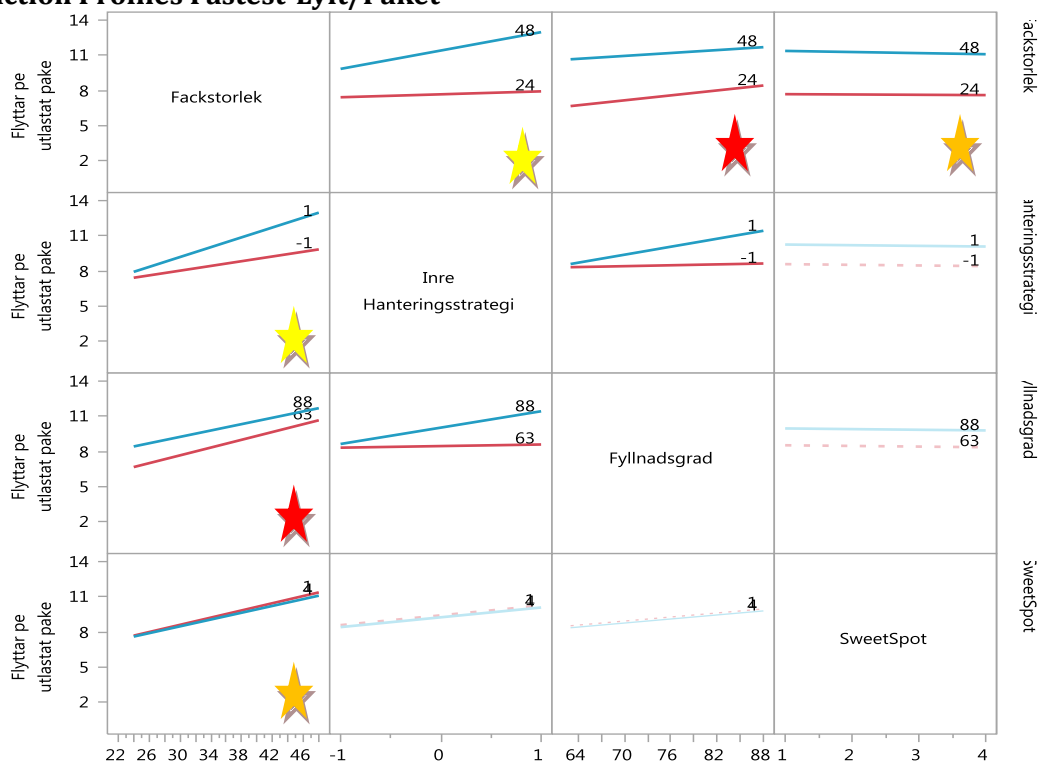
Stort avstånd mellan linjerna indikerar att huvudfaktorn är stark, ska dock bara läsas radvis.

Stjärna markerar kombinationseffekter som har en statistiskt säkerställd inverkan på nyckeltalen. Notera att kombinationseffekterna visas dubbelt utifrån respektive huvudfaktors perspektiv, se stjärnor med samma färg.

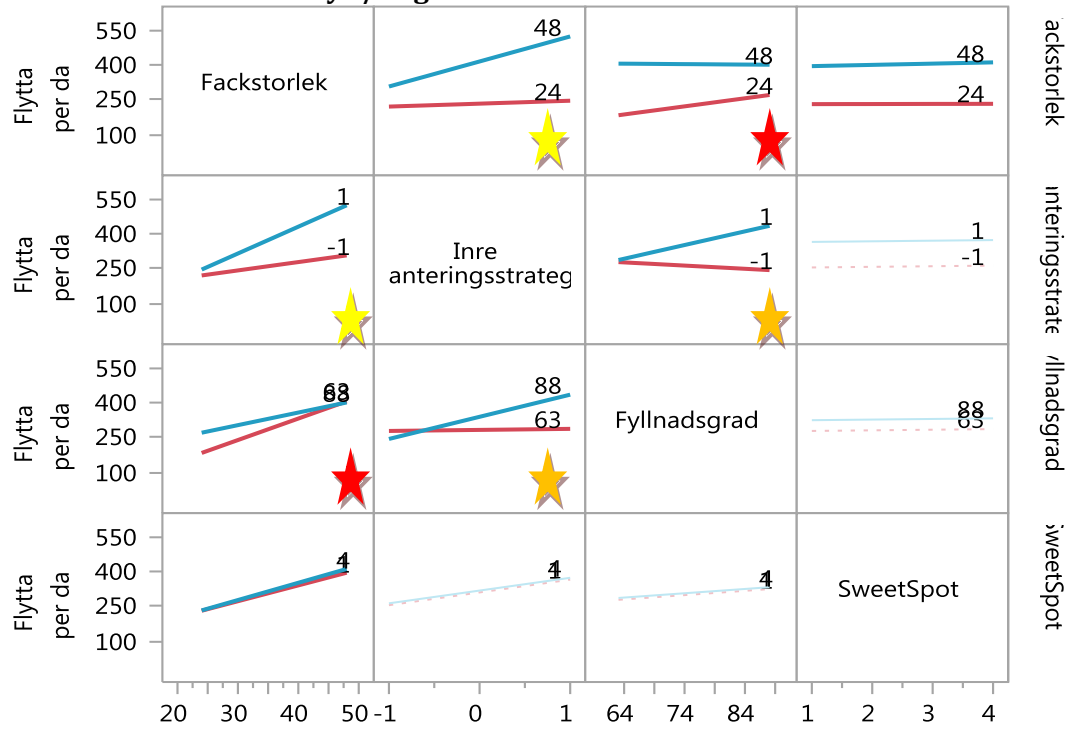
Kombinationseffekten mellan *Inre Hanteringsstrategi* och *Fyllnadsgrad* är ett exempel på en betydande interaktion. Här ser man att en slumpmässig placering av paketen (*Inre Hanteringsstrategi 1*) är känslig för hög fyllnadsgrad (88), se blå linje. Medan de röda nästan horisontella linjerna indikerar en mycket liten känslighet, när man koncentrerar samma produkter till samma fack i kombination med låg fyllnadsgrad.

Svaga och streckade linjerna indikerar att effekten inte är statistiskt signifikant.

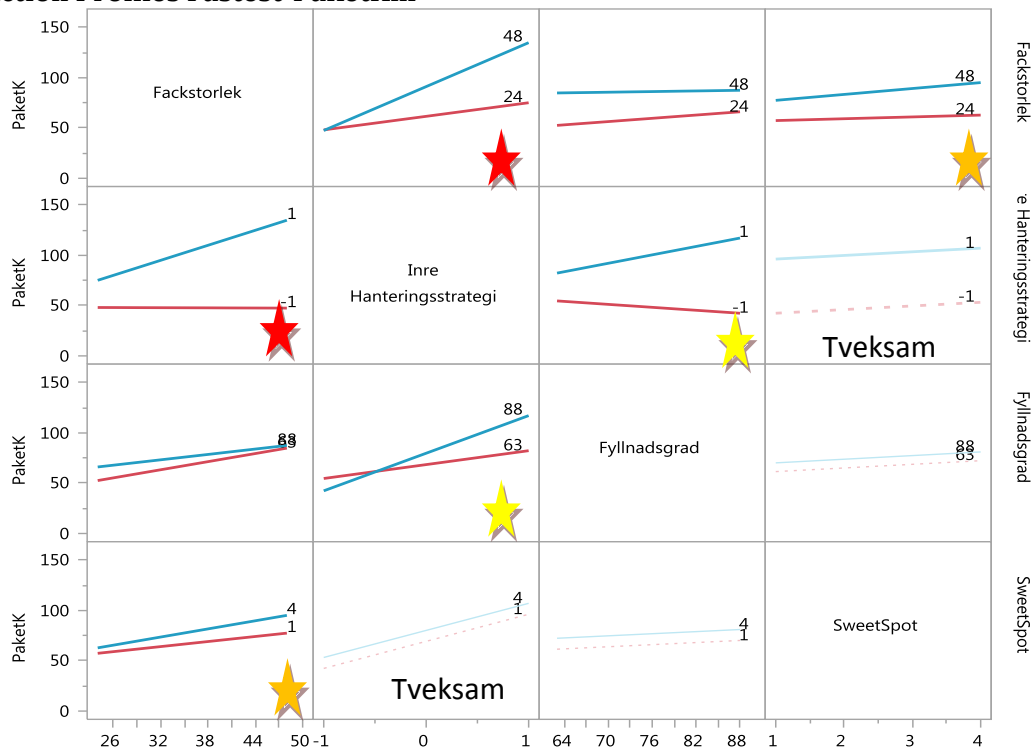
Interaction Profiles Fastest-Lyft/Paket



Interaction Profiles Fastest-Lyft/Dag

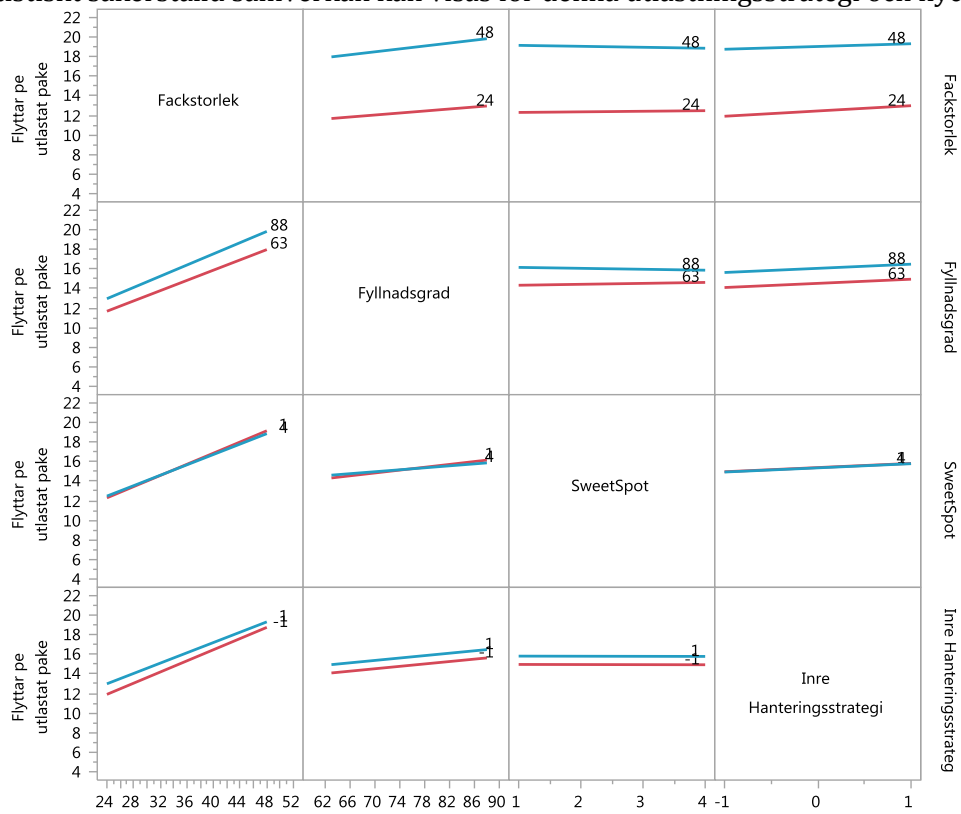


Interaction Profiles Fastest-PaketKm

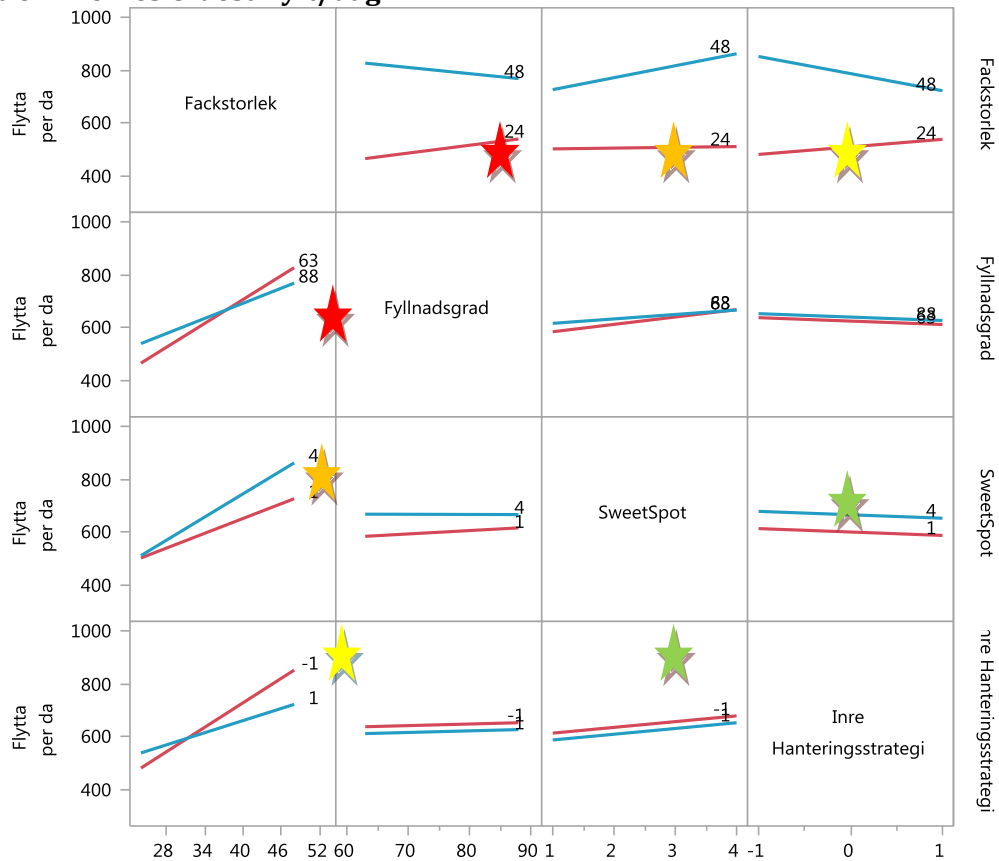


Interaction Profiles Oldest-Lyft per paket

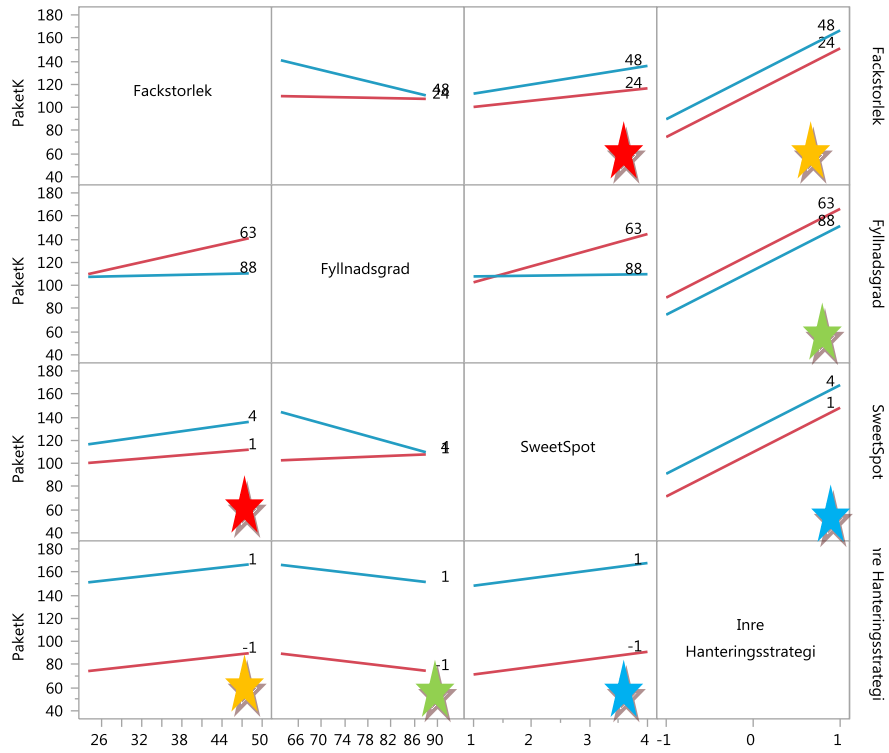
Ingen statistiskt säkerställd samverkan kan visas för denna utlastningsstrategi och nyckeltal.



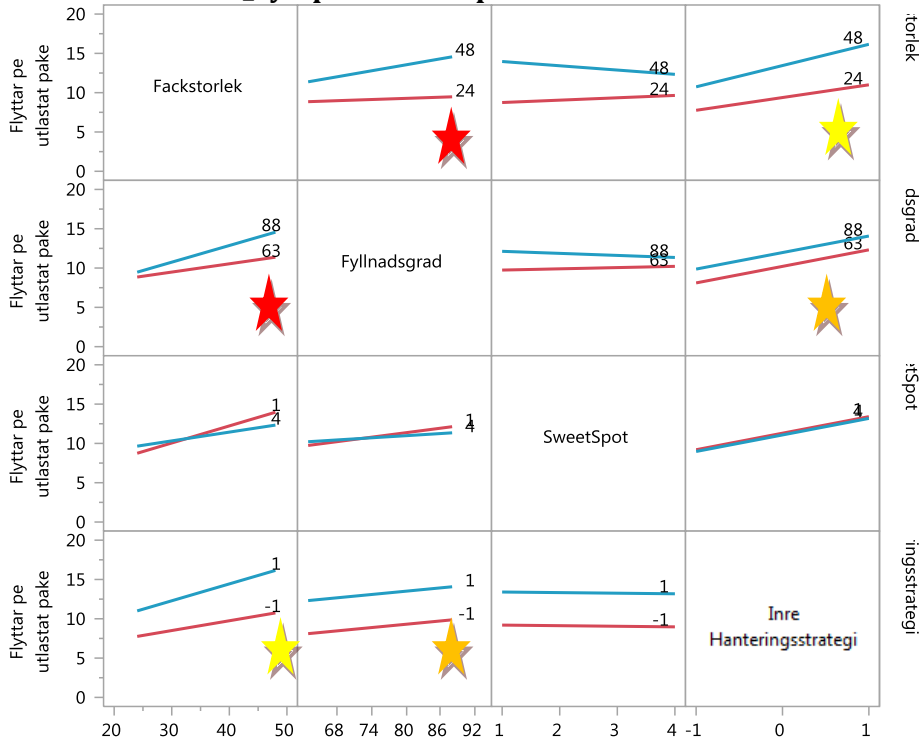
Interaction Profiles Oldest-Lyft/dag



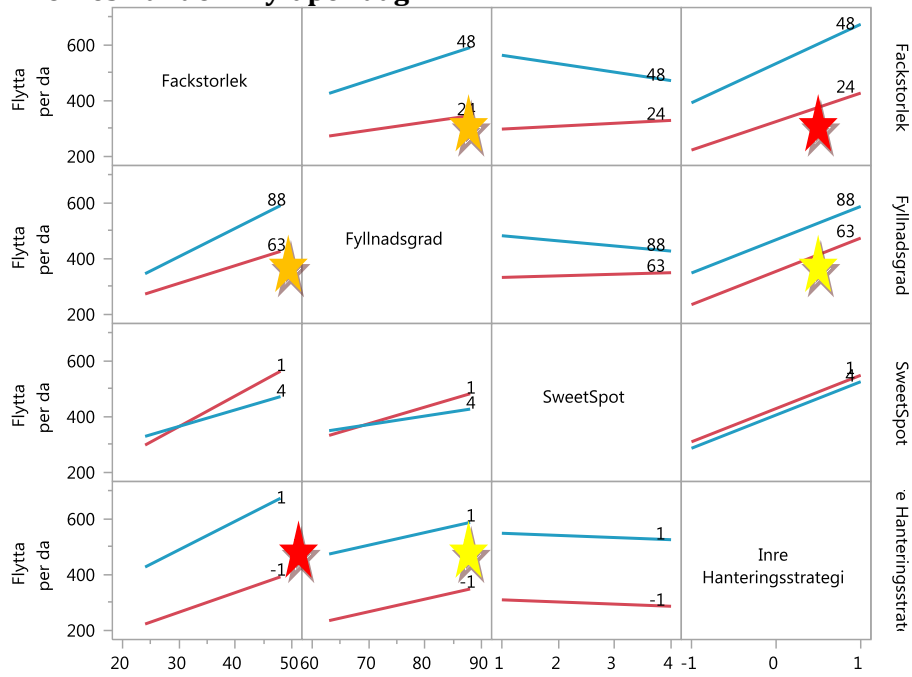
Interaction Profiles Oldest- PaketKm



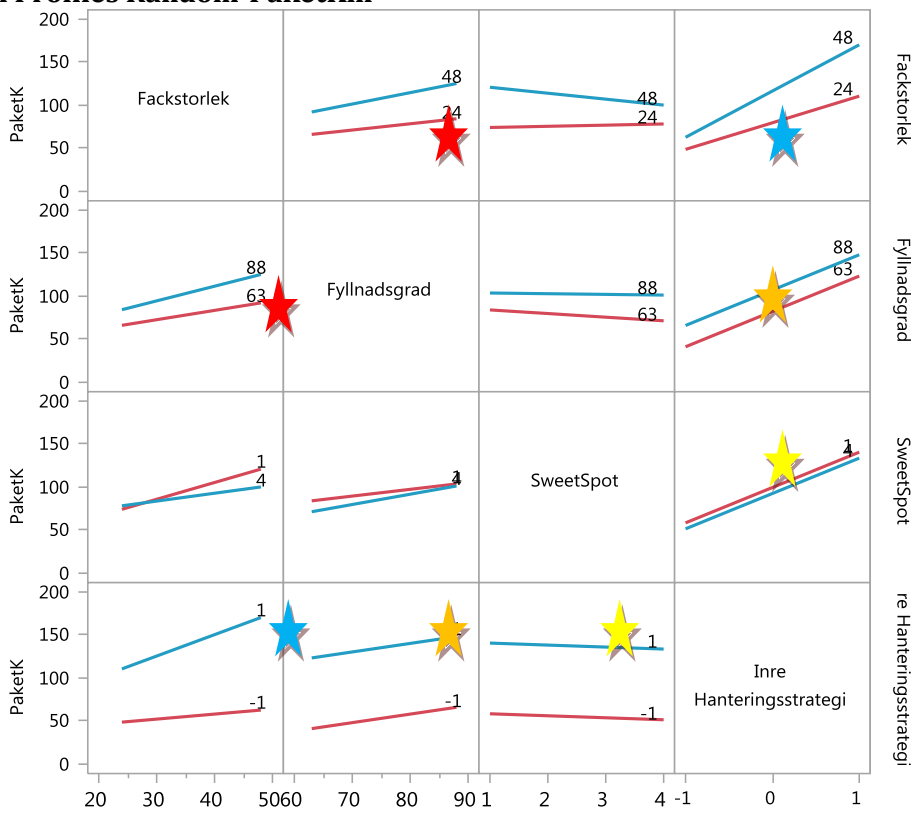
Interaction Profiles Random_Lyft per utlastat paket



Interaction Profiles Random-Lyft per dag



Interaction Profiles Random-PaketKm



BILAGA 3

Projektplan

Simulering, scenariomodellering och optimering av pakethantering på sågverk.

Vision:

Att skapa en generell modell för generering av beslutsunderlag för förändring av processerna kring pakethantering och utlastningsstrategier på sågverk.

Mål:

Visa på strategi som kan minska antalet paketlyft med 20% samt reducera transportarbetet (paketmeter) med 10 %

Delmål:

Analys av effektiviseringspotentialen med att ge truckföraren ett placeringsförslag av paket som ligger på gafflarna.

Analys av optimal fyllnadsgrad i magasin med avseende på antal lyft och paketmeter i form av känslighetsanalys.

Analys av sambandet och problemställningarna med kombinationen av kundorderstyrd produktion och plan för utlastning kontra produktion mot lager med icke definierad utlastningsplan.

Genomförande:

Start med ett tomt generellt förenklat lager för hantering av mixen produktion mot kundorder respektive lager.

Genomförande av ett antal simuleringar/fallstudier utifrån en försöksdesign där olika strategier för placering av paket provas.

Försöksdesignen ska ta hänsyn till olika processförutsättningar varierar tex truckstorlek, magasinens/lagringsplatsernas utformning och storlek, produktionsplanering och styrning, utlastningsstrategi, m.m.

Styrgrupp:

TCN Mätteknik styrgrupp

Projektgrupp:

Martinsons, Bergkvists, SCA, Datapolarna (går ev. in som intressent förhandling pågår), LTU.

Genomförande:

Olle Hagman, Micael Öhman LTU och Anders Marklund Datapolarna.

Budget:

500.000 sek

Tidplan:

Start 1 mars 2012, slutredovisas 15 juni 2013.

Milestones:

1. Simuleringsmodell.

Leverans: Modell som kan nyttjas för hela försöksupptällningen. 1 april

2. Försöksdesign.

Leverans: Plan för hur simuleringarna/fallstudierna ska genomföras.

3. Simulering/fallstudier: Screening = Sammanställning av resultat som visar på framkomliga vägar för optimering

4. Seminarium, TCN mätteknik och inbjudna intressenter.

Leverans: Prioritering av fortsatt arbete.

5. Fördjupat modellarbete.

6. Industriell test av optimerad modell med strategier för beslutsfattande i processen.

7. Slutrapport. Ev demonstration på värdsågverk

Om TräCentrum Norr

TräCentrum Norr finansieras av de deltagande parterna tillsammans med medel från Europeiska Regionala Utvecklingsfonden (Mål 2), Länsstyrelsen i Norrbottens län samt Region Västerbotten.

Deltagande parter i TräCentrum Norr är: Lindbäcks Bygg AB, Holmen Timber, Martinsons Trä AB, SCA Forest Products AB, Norra Skogsägarna, Setra Group AB, Sågverken Mellansverige, SÅGAB, Sveaskog AB, Luleå tekniska universitet, Skellefteå kommun och Piteå kommun.

En investering för framtiden



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden