

16

Töidenjärjestely

Luennon sisältö

- Töidenjärjestelyn perusteet
- Skedulointimallit
- Työntekijöiden skedulointi

Töidenjärjestelyn idea, tärkeys ja haastavuus

- Ideana osoittaa kaikille tilauksille/asiakkaille jne. oikeanlaisia resursseja oikeaan aikaan
 - resurssit voivat olla mm. työntekijöitä, koneita, materiaaleja, tiloja
 - päätöksiä siis reitityksestä, järjestyksestä ja ajoituksesta
- Resurssien järjestäminen on yksi ”johtajien” tavallisimpia tehtäviä
 - skedulointia tehdään toistuvasti, jopa monta kertaa päivän sisällä (esim. lentokentällä suunnitelmat uusiksi kun koneet myöhässä)
 - käytännön linkki suunnitelmien ja toteutuksen välillä!
- Tasapainottelua rajoitettujen resurssien ja erityyppisten tavoitteiden välillä J
 - maksimoida tuotantomäärät, minimoida kustannukset, pitää kiinni luvatuista toimitusajoista, ylläpitää tasaista laatua...

TUTA 20

Luento 16

5

Töidenjärjestelyä tehdään kaikkialla

- Tuotteiden / tilausten / asiakkaiden skedulointi
 - tuotannon organisointi muutet- taessa panoksia tuotoksiksi
 - esim. missä järjestyksessä eri tuotteet / tilaukset valmistetaan tehtaassa tai työpisteessä
 - esim. missä järjestyksessä asiak- kaita palvellaan vaatekaupassa
- Työvuorojen skedulointi
 - työvuorojen määrittely sekä tuotannossa että palveluissa?
 - esim. millaisia vuoroja kukin hoitaja tekee sairaalassa huomioiden lukumäärä- ja osaamistavoitteet sekä hoitajien yksilölliset toiveet
- Projektien skedulointi
 - projektien organisointi aika- ja kustannusrajoitteiden pohjalta
 - esim. kuka konsulttitoimistossa työskentelee missäkin projektissa?
- Tilojen skedulointi
 - työtilojen kohdistaminen resurssi- ja tilarajoitteet huomioiden
 - esim. miten korkeakoulussa määritellään kurssien opetusajat (oppilaat, opettajat, salit)?
- Kuljetusten skedulointi
 - toimeksiantojen allokointi
 - esim. miten korjauspalveluissa asiakaskäynnit ajoitetaan matkat ja käyntien kestot huomioiden?
 - esim. miten bussien ja raitiovaunujen aikataulut suunnitellaan?

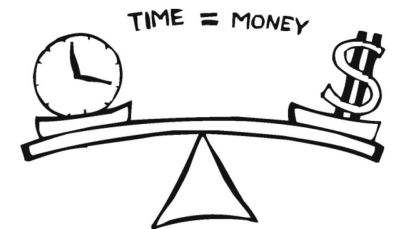
TUTA 20

Luento 16

6

Töidenjärjestelyllä myös strateginen rooli J

- Suora vaikutus kustannuspohjaiseen kilpailukykyyn
 - hyvä skedulointi nostaa tehokkuutta ja laskee kustannuksia
 - aikataulu è työvirta è kassavirta (läpimenoajat, varastot jne.)
 - esim. lentoyhtiöt säästäneet satoja miljoonia vuodessa tehokkaammalla resurssien käytöllä
- Suora vaikutus aikaperusteiseen kilpailukykyyn
 - esim. kuljetuspalvelut; nouto- ja toimitusajankohtien, autojen, lentokoneiden ja henkilöstön jatkuva palapeli

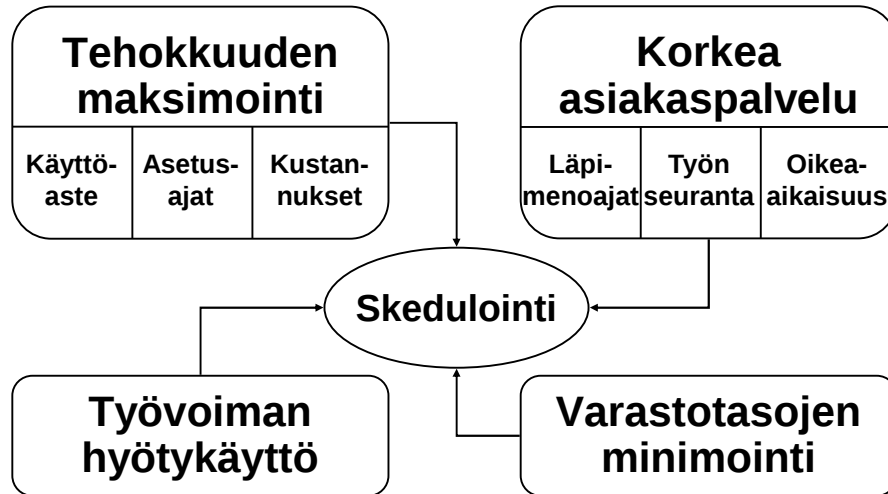


TUTA 20

Luento 16

9

Töidenjärjestelyssä monia eri tavoitteita



*Trade-off tavoitteiden välillä,
painotus riippuu monesta asiasta*

Töidenjärjestelyssä monia eri tavoitteita

- case NHL:n peliohjelma -

Sunday, March 1			
MATCHUP		TIME	NAT TV
Chicago @ Florida		1:00 AM	ESPN+
Vancouver @ Toronto		2:00 AM	
Carolina @ Montreal		2:00 AM	
Detroit @ Ottawa		2:00 AM	SNO
Dallas @ St. Louis		3:00 AM	
Colorado @ Nashville		3:00 AM	ESPN+
Buffalo @ Arizona		3:00 AM	
Winnipeg @ Edmonton		5:00 AM	RSN
Pittsburgh @ San Jose		5:30 AM	
Philadelphia @ New York		7:00 PM	NBC
Calgary @ Florida		11:00 PM	

Joukkueiden toiveet

Pitkät etäisyydet

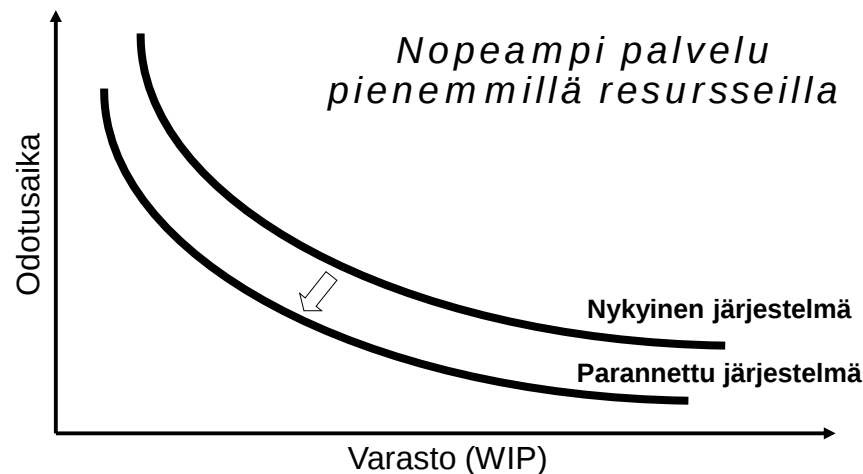
Television toiveet

Pelaajien kotielämä



31 joukkuetta - 1271 ottelua - 6,5 kuukautta

Hyvä työjärjestys auttaa monessa!



Millainen on hyvä työjärjestys?

- case lennonjohto -

- **Päätöksenteossa tutut perusmuuttujat**
 - lentokoneet ("työt")
 - kiitotiet ("koneet")
 - suunnitellut laskeutumisajat ("toimitusajankohdat")
 - matkustajien lukumäärä koneissa jne. (esim. "kustannus")
- **Useita mahdollisia tavoitefunktioita**
 - laskeutumisiin vaadittavan kokonaisajan minimointi
 - myöhästyneiden matkustajien lukumäärän minimointi
 - jne.
- **Tilannekohtaiset muuttujat huomioitava**
 - "työt": sairaskuljetukset, polttoaine, poliitikot J, konetyyppi...
 - "koneet": säätö (näkyvyys, tuuli), korjaukset (lumi, kumi)...
 - "henkilöt": tornin kelpuutus (toiset ovat vaan guruja J)...

Onko hyvää järjestystä aina edes olemassa?

- case korona ja hengityslaitteet&rokotteet -

• Missä järjestyksessä rajalliset resurssit tulisi jakaa? Ketkä ensin?

- sairastumisjärjestys (eli FCFS)
- sairaimmat ensin (kiireellisyysjärjestys)
- vähiten sairaat ensin (paras odotusarvo)
- vanhemmat ensin (heikkoja)
- nuorimmat ensin (tulevaisuus edessä)
- varakkaimmat ja yhteiskunnallista asemaa omaavat ensin (eli VIPs)
- köyhät ja heikot ensin ("reiluus")
- eturintamassa työskentelevät ensin
 - esim. lääkärit ja hoitajat (entä tutkijat?)
- quality-adjusted life-year -arvo
 - eli lisäelinvuodet*elämänlaatu järjestys



Mallien toteutus lähtee liikkeelle perusasioilla

• Töiden ja resurssien tiedot välttämättömiä

- tilaukset / työt (määräajat, materiaaltarpeet)
- työvaiheet (järjestys, kesto)
- tuotantolaitteet (ominaisuudet, kapasiteetti, kustannus)
- tilat (saatavuus, kapasiteetti, käyttö, kustannus)
- työntekijät (saatavuus, osaaminen, tehokkuus, kustannus)
- sakot myöhästymisistä

• Staattiset mallit yleisempiä

- määrätty määrä töitä, kaikki työt saapuvat yhtä aikaa, kaikki työpisteet vapaita, minimoidaan kokonaistuotantoaika...

• Dynaamiset tilanteet normaalia arkea

- töitä lisätään jatkuvasti, tilaukset muuttuvat jatkuvasti ja epä-säännöllisesti, kapasiteetti vaihtelee ilman etukäteisvaroitusta...

Järjestyksen ja ajoittamisen ero?

- sequencing & scheduling -

Molemmilla pyritään kehittämään suunnitelma, joka ohjaa töiden vapauttamista tuotantosysteemiin ja koordinoi tarvittavia resursseja

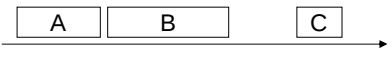
SEQUENCING

- antaa järjestyksen, ei vapautusaikoja
 - riittävä yksinkertaisissa tilanteissa



SCHEDULING

- antaa yksityiskohtaiset vapautusajat
 - sopiva, kun monimutkaiset reititykset tekevät yksinkertaisesta työjärjestyksestä epäkäytännöllisen



Tuotantotyyppi vaikuttaa töidenjärjestelyyn

• Verstas

- moniulotteinen ongelma
- useita tavoitteita/ratkaisuja

• Erätuotanto

- tuotantoerän laatu ja koko (ELS)
- varaston riitto (run-out time)

• Kokoonpanolinja

- tuotantolinjan tasapainottaminen, tasainen tuotantonopeus
- osien tuotantojärjestys

• Prosessituotanto

- ensisijaisesti tuotteen-vaihdon ajoitusta
- kustannukset avaintekijänä

Verstastuotannon skedulointi hankalinta

- **Tuotannon ominaispiirteistä johtuen moninainen prosessi**
 - useita erilaisia tuotteita, tuotantovaiheita, -järjestyksiä, käsittely- ja asetusajoja, tilauskokoja jne.
- ➔ **jokainen vaihe pitää skeduloida erikseen**
 - koordinaatio luonnollisesti tärkeää
- **Erittäin dynaaminen toimintaympäristö**
 - tilauksia saapuu, odottaa ja lähtee jatkuvasti
- **Tuotannossa samanaikaisesti monia tilauksia**
 - yritykset joko "jäädyttävät" skeduloitavan tilauskannan tai työskentelevät jatkuvien prioriteettien kanssa

TUTA 20

Luento 16

21

Yleisimmät prioriteettisäännöt

esim.
A: kesto 2,
deadline 3
B: kesto 5,
deadline 6

- **FCFS (first come - first served)**
 - töiden saapumisjärjestys määrittelee työjärjestykseen
 - ei oikeastaan millään mittarilla kauhean hyvä sääntö (sattuma)
- **SPT (shortest processing time)**
 - töiden kesto määrittelee työjärjestyksen
 - työ, jonka kesto on lyhin aloitetaan ensin jne.
 - minimoi keskimääräisen työstö-ajan yhden koneen tapauksessa
- **EDD (earliest due date)**
 - töiden määräpäivä määrittelee työjärjestykseen
 - työ, jonka määräpäivä on lähimpänä aloitetaan ensin jne.
 - minimoi maksimi viivästymisen
- **CR (critical ratio)**
 - lasketaan suhdeluku jakamalla "jäljellä oleva aika" käsittelyajalla
 - ensimmäisenä työ, jolla on vähiten aikaa jäljellä ko.hetkellä käsittely-aikaan suhteutettuna (= "kriittisin")
- **S/RO (slack per remaining ops)**
 - lasketaan suhdeluku jakamalla "jäljellä olevan ajan" ja käsittelyajan erotus jäljellä olevien operaatioiden määrällä
 - ensimmäisenä "kriittisin" työ
- **Monia muitakin löytyy**
 - staattiset: longest processing time, start date, last come - first served, random order, least set-up...
 - dynaamiset: slack time remaining, least work / fewest operations remaining, S/PT, MOD...

TUTA 20

Luento 16

22

Skeduloinnin suorituskyvyn mittaaminen

Tuotanto

Varasto

Markkinointi

- **Kokonaistuotantoaika (makespan)**
 - ensimmäisen työn aloittamisen ja viimeisen työn lopettamisen välinen aika
- **Keskimääräinen työstöaika (average flow time)**
 - työstöaikojen summa jaettuna töiden lukumäärällä (sisäinen tehokkuus)
 - työstöaika (flow time) = työn prosessissa viettämä aika (odotus+käsittely)
- **Keskimääräinen töiden lukumäärä (WIP & total)**
 - työstöaikojen summa jaettuna kokonaistuotantoajalla (varaston likiarvo)
 - lopullisten toimitusaikojen summa jaettuna kokonaistuotantoajalla
- **Keskimääräinen viivästyminen (average tardiness)**
 - myöhästymispäivien summa jaettuna töiden lukumäärällä (asiakaspalvelun hyvyys ja ulkoinen tehokkuus)
- **Myöhästyneiden töiden lukumäärä / osuus**
- **Maksimi myöhästyminen**

TUTA 20

Luento 16

26

Skedulointi esimerkki

Neljä työtä (A-D) pitää käsitellä yhdellä koneella. Testaa eri prioriteettisääntöjä (FCFS, SPT, EDD ja CR) ja laske sääntöjen tehokkuus keskeisillä suorituskykymittareilla.

Työ (saapumisjärjestys)	Käsittely- aika	Määrä- päivä
A	4	13
B	3	6
C	1	4
D	5	7

Sääntö	Järjestys	Ka. työstöaika	Ka. töiden lukumäärä WP	Ka. töiden lukumäärä total	Viivästymiset / myöhästymiset ka.	Viivästymiset / myöhästymiset lukumäärä	Viivästymiset / myöhästymiset maksimi
FCFS	A-B-C-D	8,00	2,46	3,15	2,75	3	6
SPT	C-B-A-D	6,50	2,00	2,77	1,50	1	6
EDD	C-B-D-A	6,75	2,08	2,46	0,50	1	2
CR	D-B-A-C	9,50	2,92	3,15	2,75	2	9

TUTA 20

Luento 16

28

Skedulointi esimerkki

Tunnuslukujen laskeminen CR –prioriteettisäännöllä 1/2

Työ (saapumisjärjestys)	Käsittely- aika	Määrä- päivä	CR	Työ- järjestys
A	4	13	3,25	3.
B	3	6	2,00	2.
C	1	4	4,00	4.
D	5	7	1,40	1.

odotus+käsittely = 7/5

Työ	Käsittely		Työstö- aika	Määrä- päivä	Myöhässä vrk.
	Alku	Loppu			
D	0	5	5	7	0
B	5	8	8	6	2
A	8	12	12	13	0
C	12	13	13	4	9
Ka.			9,50	Ka.	2,75

HUOM! ka.käsittelyaika (3,25) ≠ ka.työstöaika (9,50)

odottelua 8, käsittelyä 4

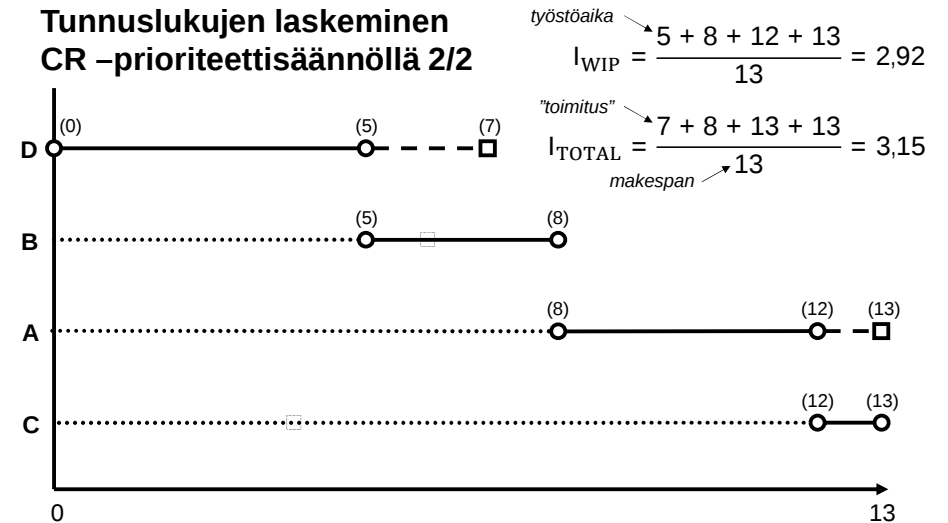
TUTA 20

Luento 16

29

Skedulointi esimerkki

Tunnuslukujen laskeminen CR –prioriteettisäännöllä 2/2



TUTA 20

Luento 16

30

Töidenjärjestely 2-vaiheisessa prosessissa

- Useimmiten työprosesseissa käytetään enemmän kuin yhtä konetta
- Johnsonin algoritmi minimoi töiden kokonaistuotantoajan (makespan) kahden koneen tapauksessa
 - lajittele töiden käsittelyajat kahdella koneella kahteen listaan
 - etsi lyhin aika jommasta kummasta listasta ja poista työ molemmista listoista
 - mikäli aika on 1. koneen listasta, sijoita työ ensimmäiselle mahdolliselle sijalle työjärjestyksessä
 - mikäli aika on 2. koneen listasta, sijoita työ viimeiselle mahdolliselle sijalle työjärjestyksessä
 - toista kunnes listat on käyty läpi

Työjärjestys ei siis ole 1.koneen SPT-järjestys!

TUTA 20

Luento 16

32

Johnsonin algoritmi esimerkki

Alkutilanne

Työ	Kesto kone 1	Kesto kone 2
A	5	2
B	1	3
C	6	4

Iterointi

- lyhin aika 1 (työ B, kone 1); sijoita työ B ensimmäiseksi ja poista
- lyhin aika 2 (työ A, kone 2); sijoita työ A viimeiseksi ja poista
- jäljellä vain työ C; sijoita jäljellä olevaan paikkaan

Kone 1	Kone 2
1 (B)	2 (A)
5 (A)	3 (B)
6 (C)	4 (C)

Kone 1	Kone 2
5 (A)	2 (A)
6 (C)	4 (C)

Lopullinen työjärjestys: B-C-A, makespan 14

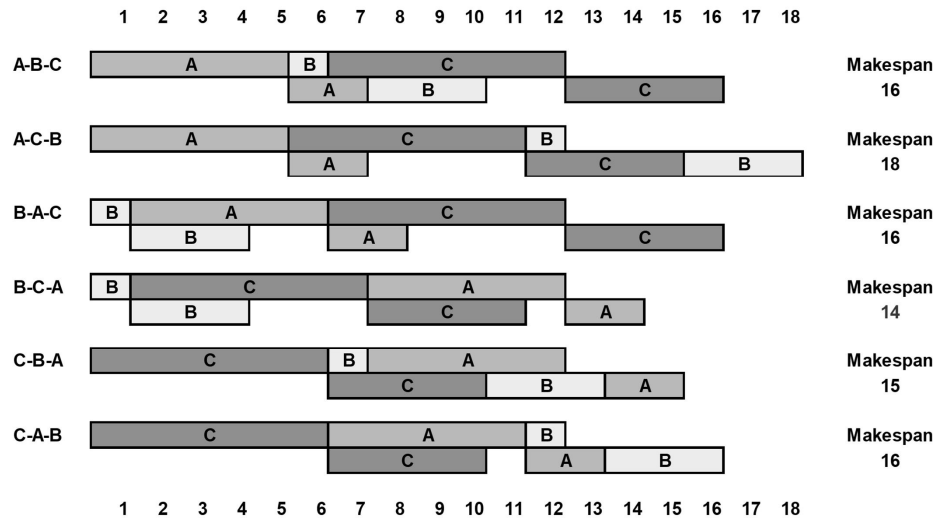


TUTA 20

Luento 16

33

Johnsonin algoritmi esimerkki



Töidenjärjestelyssä huomioitavia asioita

- **Töidenjärjestelymallien taustalla yleensä paljon oletuksia**
 - työt välittömästi käsiteltävissä, prosessointiajat deterministiset
 - ei asetusaikoja, ei koneiden rikkoutumisia, ei peruttuja töitä, töiden keskeyttäminen mahdotonta...
- **Käytännössä tilanne varsin erilainen**
 - kaikki työt eivät ole valmiina työstettäväksi kun ongelmaa ratkaistaan, prosessointiajat harvoin deterministisiä...
 - käytössä aina enemmän kuin kaksi konetta, asetusaikat riippuvat työjärjestyksestä jne.
- **Ongelmanasettelussa siis aina epävarmuutta**
 - isoihin ongelmiin tuskin löydetään optimaalisia vastauksia
 - prioriteetteihin perustuvat järjestelysäännöt toimivat usein hyvin

Pienten ongelmien selvittäminen mahdollista, isojen välillä turhauttavan hankalaa!

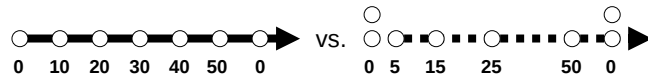


Ongelmanratkaisussa hyviäkin puolia

- **Määräpäivät voidaan määritellä selkeästi**
- **Töiden jakaminen pienempiin eriin on mahdollista**
 - yhdellä koneella saadut SPT tulokset antavat ymmärtää, että lyhyet työt "purkavat" jonoa nopeammin kuin pitkät työt
 - Johnsonin algoritmin rutiini viittaa siihen, että useamman koneen tapauksessa kannattaa aloittaa ja lopettaa lyhyellä työllä
 - lyhyistä töistä saadaan pieniä "siirtoeriä" ja niistä voidaan yhdistellä isompia "tuotantoeriä"
- **Kapasiteetilla usein joustomahdollisuuksia**
 - ylityöt, työntekijöiden kierrättäminen, alihankkijat...
- **Huomio keskittyy pullonkauloihin**
- **Useita mahdollisia työjärjestyksiä** (riittävän hyviä)

Töidenjärjestelyä tehdään myös palveluissa

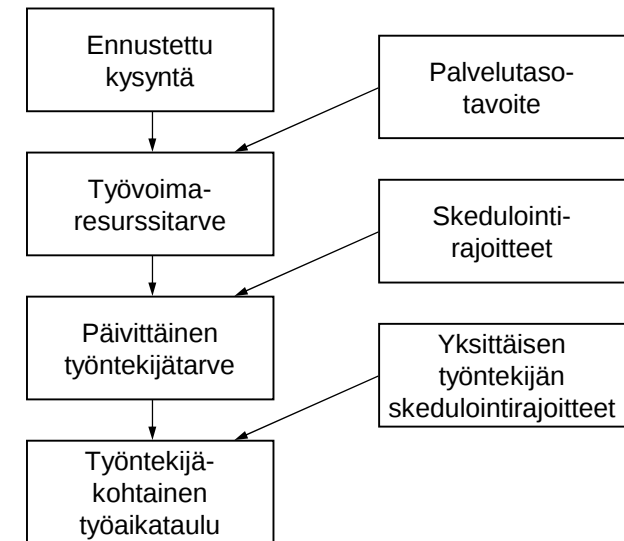
- **Klassinen varastoimattomuuden ongelma**
 - kysyntä lisäksi usein varsin epätasaista
- **Varausjärjestelmä vähentää satunnaisuutta**
 - järjestelmän yleistä toimivuutta parantaa mm.
 - muistus varauksen olemassa olosta (soitto, SMS, email...)
 - taloudellinen rangaistus jos jättää saapumatta (no-show -sakko)
 - "palkitsematta jättäminen" jos saapuu paikalle liian aikaisin (eli esim. ei palvella etuajassa olevia) ja "sakottaminen" jos myöhästyy
 - varausten "aaltomainen" allokointi (asiakkaat hieman "etuajassa")



- **Promootiot ja hinnoittelumekanismit helpottavat kysynnän tasoittamisessa**

- helpottaa mm. henkilökunnan skedulointia

Yksinkertaistettu työntekijöiden skedulointi



Työntekijöiden skedulointi

- **Tavoitteena skeduloida tarpeeksi ihmisiä vastaamaan kysyntään minimikustannuksin**
 - varsin klassinen asiakastytyväisyys vs. kustannus tasapainottelu
 - osa-aikaisia käytetään usein juuri heidän joustavuuden vuoksi
- **Tehokkaan skeduloinnin merkityksen näkee katsomalla palkkakustannusten osuutta**
 - skedulointi sitä hankalampaa mitä enemmän kysyntä vaihtelee
 - esim. palvelualat (työntekijät erottamaton osa palvelun tuottamista)
 - skedulointi helpompaa tasaisessa tuotannossa
 - esim. paperiteollisuus ("vuorolistat vuosiksi eteenpäin")
- **Inhimillisyyssasiat koko ajan ajankohtaisempia**
 - ylipitkät / liian lyhyet työvuorot, hyppytunnit, riittävät tauot
 - ylityöt, osa-aikaisuus, ruuhkatyöntekijät, nollatuntisopimukset
 - vapaapäivien peräkkäisyys

Työntekijöiden skedulointi esimerkki

Kauppakeskuksessa tarvitaan vartioita. Kuinka monta vartijaa pitäisi vähintään palkata kun työpäivän pituudesta johtuen he tekevät nelipäiväistä työviikkoa.

Työehtosopimuksessa on myös sovittu vapaapäivien peräkkäisyydestä.

	Ma	Ti	Ke	To	Pe	La	Su	
Tarve	3	2	4	2	3	6	5	25
Työntekijä 1 Tarve vielä	X				X	X	X	
Työntekijä 2 Tarve vielä	2	2	4	2	2	5	4	
Työntekijä 3 Tarve vielä	X	X				X	X	
Työntekijä 4 Tarve vielä	1	1	3	1	1	3	3	
Työntekijä 5 Tarve vielä			X	X	X	X		
Työntekijä 6 Tarve vielä	X	X	2	0	0	1	2	
Työntekijä 7 Tarve vielä	X	X	X	0	0	1	1	
Työntekijä 8 Tarve vielä	0	0	1	0	0	0	0	
Yhteensä	4	3	4	4	5	7	5	32
Ylimääräisiä	1	1	0	2	2	1	0	7

Sijoitetaan 1. työntekijä työskentelemään Pe-Ma koska neljän peräkkäisen päivän tarve on tuolloin suurin.

Vähennetään 1. työntekijän työpanos päiväkohtaisista tarpeista eli esim. sunnuntaille tarvitaan enää 4 työntekijää.

Vapaapäivien peräkkäisyys aina laskuissa perusoletuksena J