

“Scheduling an industrial production facility”

Fundur ARFÍ, 21. mars 2007

Eyjólfur Ingi Ásgeirsson

unnið í samstarfi við:

David Phillips (Columbia University)

Cliff Stein (Columbia University)

Jonathan Berry (Lafayette College)

Cynthia Phillips (Sandia National Labs)

Joel Wein (Polytechnic University)



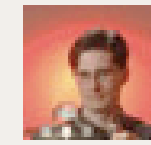
SECURING A PEACEFUL AND FREE WORLD THROUGH TECHNOLOGY

TARGETING LEGACY ORDNANCE

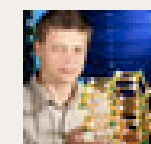
Suite of techniques search for unexploded ammunition, bombs

[» find out more](#)

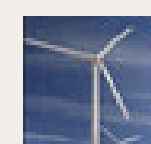
NEWS RELEASES



Ice in nanoseconds



A material world



Twisting in the wind

SANDIA'S NATIONAL SECURITY MISSIONS



Nuclear Weapons
Ensure a safe, secure, & reliable nuclear deterrent.



Energy & Infrastructure Assurance
Ensure clean, abundant, & affordable energy and water.



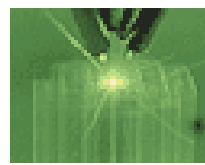
Nonproliferation
Reduce proliferation of weapons of mass destruction & threat of accidents.



Defense Systems & Assessments
Help maintain U.S. military weapon-systems superiority.



Homeland Security
Help protect our nation against terrorism through advanced technology.



Science, Technology, & Engineering
Conduct R&D programs to support all national security missions.

RESOURCES FOR...

Advanced Concepts R&D

Community

Employees & Retirees

News Media

Partners & Collaborators

Students

Suppliers

Visitors



BWXT
Pantex

Teamwork
that delivers...
Results!

Maintaining the safety, security and reliability of America's nuclear weapons stockpile

Current News

Pantex Facility

Security

HPI Test

Environment

Employment

Procurement

Visitor Center

[Notice To Users](#) | [Map To Pantex](#) | [Other Web Sites](#) | [Energy.gov](#)
[Plant Status](#) | [Plant E-mail](#) | [Phone Directory](#) | [Contact Us](#)



National Nuclear
Security Administration



Bakgrunnur

- Pantex verksmiðjan tilheyrir “Department of Energy” í Bandaríkjunum og hefur eftirfarandi hlutverk:
 - Eyðing kjarnorkuvopna (nuclear weapon disposal)
 - Skoðun á kjarnorkuvopnaforða (stockpile evaluations)
 - Viðhald kjarnorkuvopnaforða (stockpile maintenance)

Bakgrunnur - Pantex

- “The Pantex Process Model” (PPM) er áætlanatól “decision support system” sem er notað til að skipuleggja nýtingu mannafla og tækja hjá Pantex.
- PPM gegnir mikilvægu hlutverki í að móta og verja stöðu Bandaríkjanna í afvopnunarsamningum og hefur leitt til þess að Pantex hefur náð að taka sundur og eyða fleiri kjarnorkuvopnum en markmið gerðu ráð fyrir. [Kjelgaard et. al. 2000]
- EPM (Evaluation Planning Module) sér um að skipuleggja nýtingu mannafla og tækja á því tímabili sem er verið að skipuleggja.
- Stór hluti af vinnuálagi hjá Pantex er falið í skoðun (evaluation) á kjarnorkuvopnaforðanum.

Bakgrunnur - Pantex

- Skv Wikipedia þá voru 3800 starfsmenn hjá Pantex árið 1996 og fékk úthlutað \$308 milljónir dollara árið 1998.
- Skv þeim upplýsingum sem við höfðum þá voru 2850 starfsmenn og árlegt budget upp á \$288 milljónir.
- Pantex er að kljást við sömu vandamál og venjulegar verksmiðjur, þ.e. hvernig á að:
 - Nýta auðlindir og mannafla á sem hagkvæmasta hátt.
 - Ná markmiðum um afköst og árangur.
- Af wikipedia: In November 2006 The U.S. Energy Department fined the plant's operators \$110,000 after it was revealed plant workers had applied an unsafe amount of pressure to a W-56 warhead that was being dismantled. The workers blamed the mishap on being forced to work 72 hour work weeks and having plant managers focused more on production rather than safety.”

Bakgrunnur - Pantex

- Helstu auðlindir Pantex eru:
 - Tæknimenn: Öll störf hjá Pantex eru unnin af tæknimönnum sem þurfa nauðsynlega þjálfun og viðurkenningar til að geta unnið hvert verk.
 - Pantex hefur um 300 tæknimenn, þar sem hver tæknimaður er hæfur til að vinna 2-5 tegundir af verkum.
 - Hvert verk er unnið af 2-5 tæknimönnum, þar sem hver tæknimaður þarf að vera með réttindi fyrir verkið
 - Hvert verk er unnið í sérhönnuðum byggingum (facilities).
 - Pantex á 82 slíkar byggingar sem eru flokkaðar í 32 týpur.
 - Það kostar um \$17 milljónir að breyta byggingu og \$70 milljónir að byggja nýja.

Markmið

- Við getum sett upp (stórt) heiltölulíkan sem lýsir vandamálinu við að skipuleggja verkröðun og nýtingu mannafla og bygginga þegar verið er að greina (evaluate) vopnaforðann.
- Markmið líkansins er að lágmarka.
 - Fjölda tæknimanna sem þarf að ráða eða þjálf.
 - Fjölda bygginga sem þarf að breyta eða byggja.
- Þeir sem sjá um skipulagningu hjá Pantex vilja fljót og góð svör við allskyns spurningum með því að nota aðeins venjulegar borðtölvur.
- Vegna þess hve stórt og erfitt vandamálið er þá er gersamlega ómögulegt að besta líkanið með þeirri tækni sem til er í dag.

Vandamál: skoðun (evaluation) á kjarnorkuvopnum

- Hver skoðun fer þannig fram að vopnið er að hluta tekið í sundur, það eru framkvæmdar prófanir á ýmsum hlutum, síðan er það sett saman aftur og komið fyrir í vopnaforðanum.
- Á hverju tímabili er hluti af vopnaforðanum settur í skoðun.
- Við getum litið á þetta vandamál sem verkniðurröðun:
 - Hver skoðun er röð af verkum.
 - Það eru undanfarar á flestum verkum.
 - Það eru skilátímar á mörgum verkum.
 - Sum verk hafa hærrí forgang en önnur verk.
 - Hvert verk þarf að vinna í sérstakri byggingu af hópi af tæknimönnum þar sem hver tæknimaður hefur réttindi til að vinna verkið.

Verkniðurröðun

- Hver skoðun (evaluation) er röð af verkum.
- Hvert verk j hefur:
 - Framleiðslutíma, p_j
 - Fyrsta mögulega byrjunartíma, r_j
 - Skilatíma, d_j
 - Tegund byggingar sem þarf í verkið, k_j
 - Hæfniskilyrði á tæknimenn, c_j
 - Fjölda tæknimanna sem þarf í verkið, s_j , þar sem allir tæknimenn hafa með þjálfun/vottun c_j

Verkniðurröðun

Tími:

- Hver vinnuvika hefur 6 daga, unnið er 8 tíma á dag.
- Lengd á verkum er gefið í klukkustundum.
- Verkum er raðað niður á daga.
- Mannaflopp og notkun á bygginum er skipulögð niður á vikur.

- Markmið okkar er ekki að búa til nákvæmt skipulag, heldur að áætla gróflega mannaflapörf og gera verkáætlun.
- Sú þörf sem við setjum fram í grófri áætlun er neðri mörk á þá þörf sem er nauðsynleg í nákvæmu skipulagi.
- Pantex getur því notað niðurstöður líkansins til að skipuleggja og réttlæta ráðningar starfsmanna, þjálfun þeirra sem og nýbyggingar eða breytingar á aðstöðum.

Heiltölulíkan

Input parameters/constants/shorthand

- p_j, r_j, d_j : processing time (hours), release day and deadline day of task j
- ρ_j : the minimum number of full days needed to process task j
- $T(j)$: set of possible start days for task j
- $p(j, t, \tau)$: number of hours worked on task j in week τ if j started on day t .
- $T(j, \tau)$: set of start times t for task j such that $p(j, t, \tau) > 0$
- k_j, c_j, s_j : facility type, certification type and crew size for task j
- $C(w)$: set of certifications held by worker w
- $f_{k\tau}$: the number of hours available in facilities of type k during week τ
- $b(j, j')$: 1 if $j < j'$ and task j' can be “packed” with task j , 0 otherwise.

Integer variables

$x_{jt} = 1$ if task j starts on day t , 0 otherwise

Fractional variables

$y_{wct} =$ fraction of time worker w spends using certification c in week τ

$F_{k\tau} =$ number of ghost facilities of type k in week τ

$G_{c\tau} =$ number of ghost technicians with certification c in week τ

Heiltölulíkan

$$\text{(TILP) minimize } \sum_{k,\tau} F_{k\tau} + \sum_{c,\tau} G_{c,\tau}$$

subject to

$$\sum_{t \in T(j)} x_{jt} = 1 \quad \forall j \quad (1)$$

$$\sum_{c \in C(w)} y_{wc\tau} \leq 1 \quad \forall w, \tau \quad (2)$$

$$x_{jt} \leq \sum_{r_{j'} \leq t' \leq t - \rho_{j'} + b(j', j)} x_{j't'} \quad \forall t \in T(j), j' \prec j \quad (3)$$

$$\sum_{j:k=k_j} \sum_{t \in T(j,\tau)} p(j, t, \tau) x_{jt} \leq f_{k,\tau} + 48F_{k\tau} \quad \forall \tau, k \quad (4)$$

$$\sum_{j:c_j=c} \sum_{t \in T(j,\tau)} p(j, t, \tau) s_j x_{jt} \leq \sum_w 48y_{wc\tau} + 48G_{c\tau} \quad \forall \tau, c \quad (5)$$

$$48y_{wc\tau} \leq \sum_{j:c_j=c} \sum_{t \in T(j,\tau)} p(j, t, \tau) x_{jt} \quad \forall c, \tau, w : c \in C(w) \quad (6)$$

$$x_{jt} \in \{0, 1\} \quad (7)$$

Lausn á líkani

- Aðferðin sem við notum til að finna lausn á þessu líkani er:
 - Leysum línulegu slökunina (linear relaxation) af líkaninu.
 - Notum “ α -points” til að fá forgangs röð á verkum úr bestu lausn á línulega líkaninu.
 - Keyrum netlíkan eða gráðugar aðferðir til að raða tæknimönnum niður á verk og úthluta byggingum.
 - Notum “local search” til að reyna að bæta markfallið.

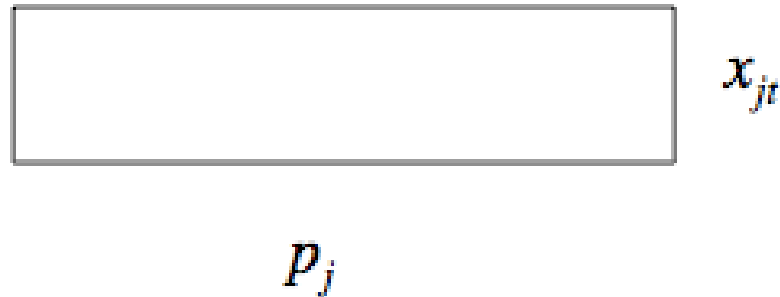
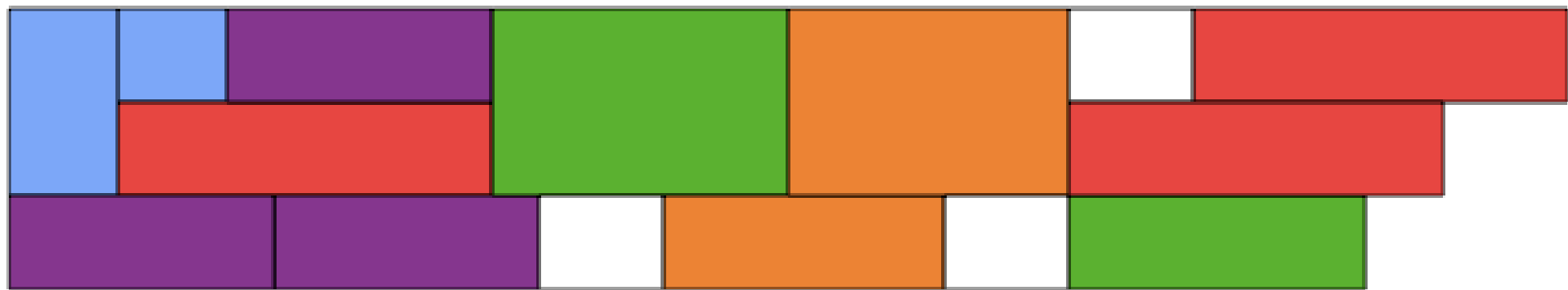
α -points

IP: $y_{jt} = 1$ if job j completes at time t , 0 otherwise

LP relaxation: " y_{jt} fraction of job j completes at time t "

Job j has length p_j , y_{jt} is the "height" of job j in the interval $[t-p_j, t]$

$$t_j^\alpha = \min \{t : \sum_{s \leq t} y_{j,s} \geq \alpha\}$$



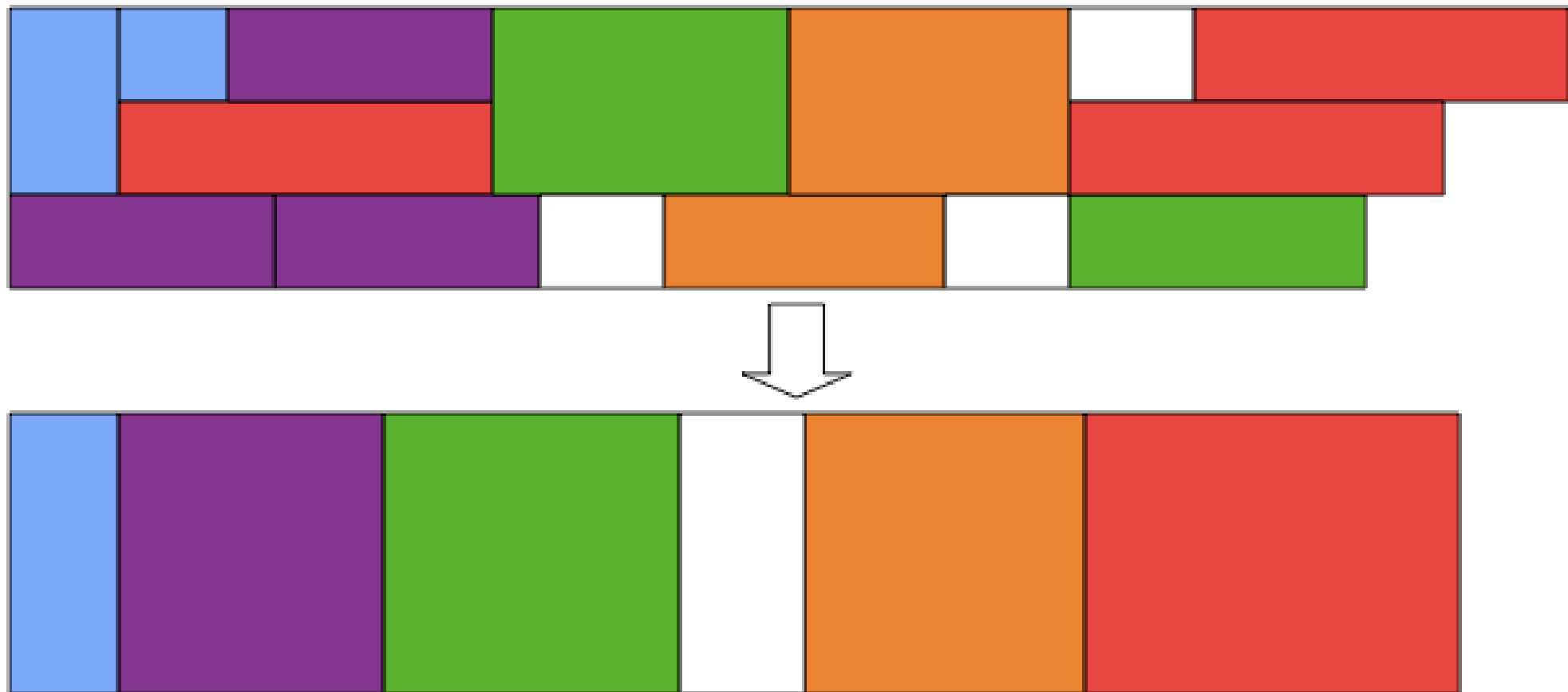
α -points

IP: $y_{jt} = 1$ if job j completes at time t , 0 otherwise

LP relaxation: " y_{jt} fraction of job j completes at time t "

Job j has length p_j , y_{jt} is the "height" of job j in the interval $[t-p_j, t]$

$t_j^\alpha = \min \{t : \sum_{s \leq t} y_{j,s} \geq \alpha\}$

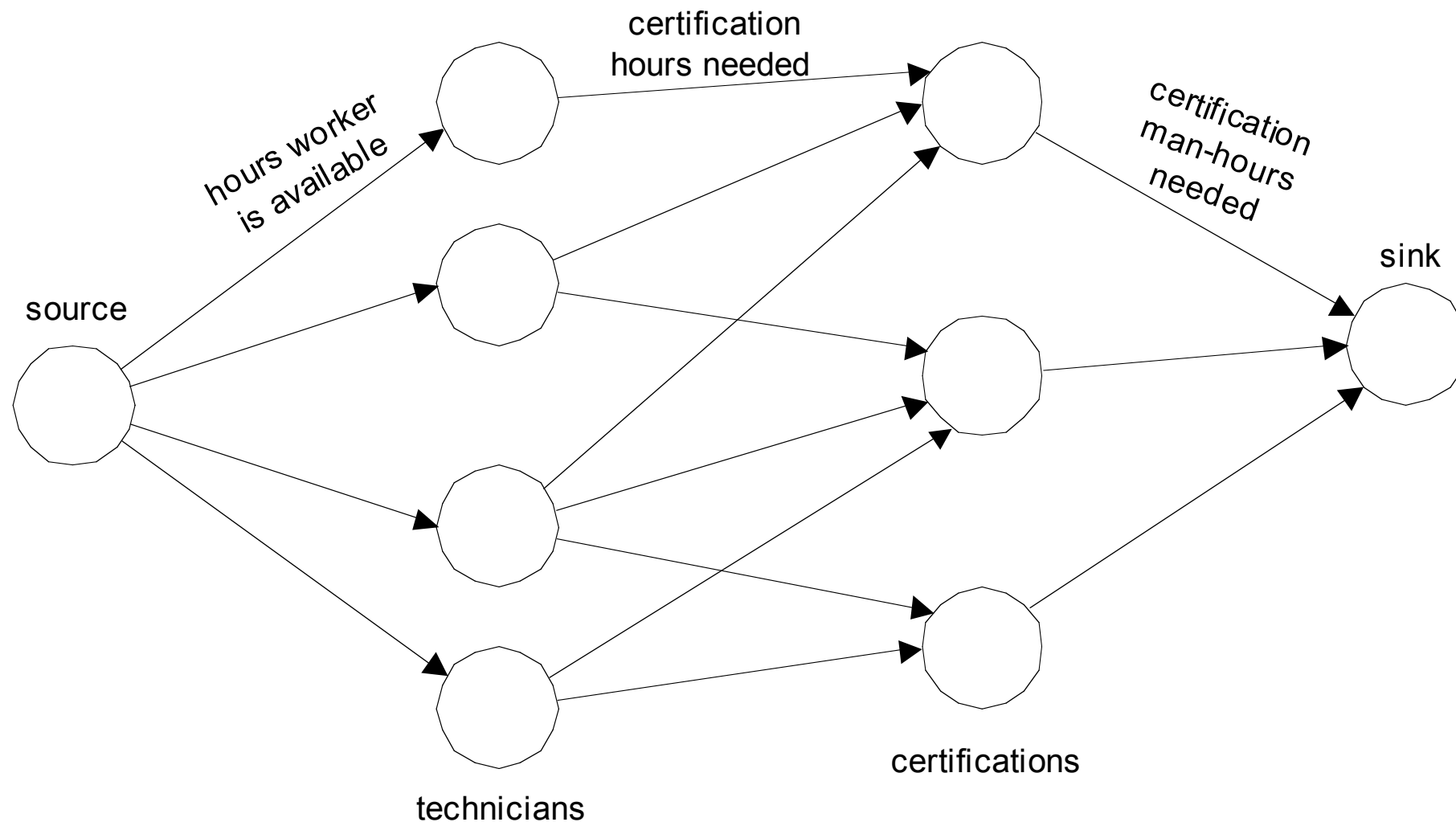


Lausn með netlíkani.

- Skref 1: Niðurröðun á verkum:
 - Skoðum hvert verk í forgangs röð:
 - Reiknum fyrir hvert tímabil, hversu marga aukataeknimenn við þurfum ef verkið er unnið í því tímabili.
 - Festum verkið á fyrsta tímabilið sem gefur lágmarksaukningu tæknimanna.
 - Uppfærum tæknimenn og kíkjum á næsta verk.

Lausn með netlíkani.

- Skref 2: Netlíkan - hámarksflæði



Hámarksflæðið segir okkur hversu marga tæknimenn & réttindi okkur vantar til að við getum staðið við áætlunina.

- Skref 3: gerum svipað við byggingar.

Gráðug lausn.

- Fyrir hvert verk í forgangs röð:
 - Skoðum öll tímabil þar sem hægt er að vinna þetta verk.
 - Finnum tímabil með flestum gjaldgengum tæknimönnum
 - Skipuleggjum verkið á því tímabili, uppfærum tæknimenn og skoðum næsta verk.
- Reiknum út þörfina á byggingum og aðstöðu.

Gögn...

- Vandamál:
 - Þau okkar sem voru með rétta öryggisheimild gátu ekki fengið raunveruleg gögn.
 - Til er forrit sem býr til verkröðunarvandamál sem líkja vel eftir raunverulegum vandamálum.
 - Þau okkar sem voru ekki með réttar öryggisheimildir máttu ekki sjá þetta forritið.
 - Þau sem máttu sjá forritið gátu ekki notað það því við hin máttum ekki sjá vandamálin sem forritið bjó til.

Gögn...

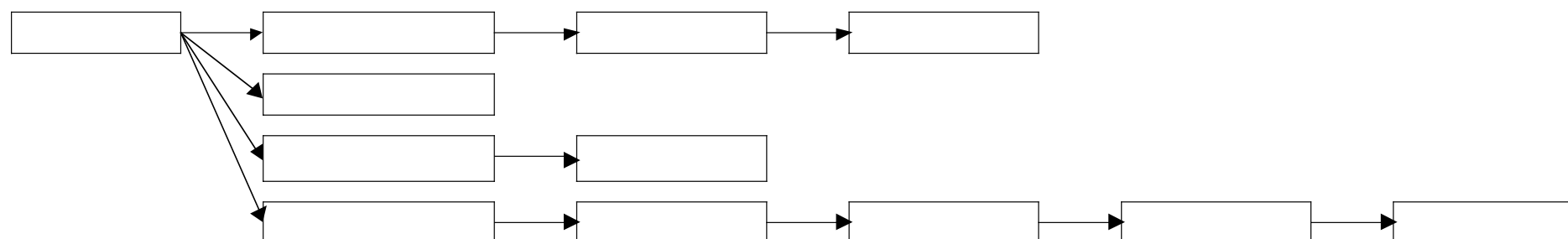
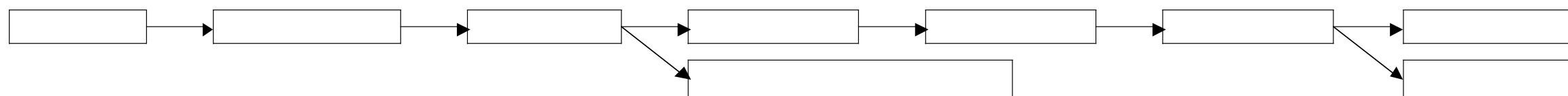
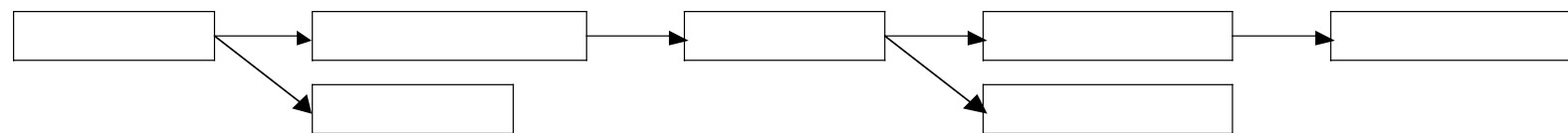
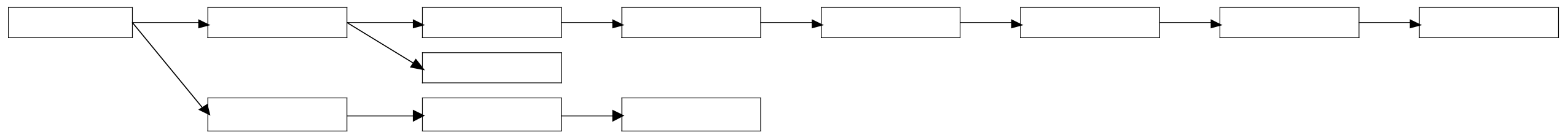
- Það sem við gerðum:
 - Við sem vorum ekki með öryggisheimild máttum spyrja spurninga.
 - Við fengum svör við flestum spurningum en óljós svör við öðrum.
 - Þau okkar sem voru ekki með réttar öryggisheimildir bjuggum til forrit sem býr til vandamál sem þau með öryggisheimildir sögðu að líktust vel raunverulegum vandamálum (eftir nokkrar ítranir...).
 - Að lokum voru vandamálin úr þessu forriti notuð til að prufa reikniritin.

Gögn...

- Dæmi um lýsingar á verkum:

- chain-like
- out-trees
- many tasks with only one successor
- “...jobs are long and thin...”

Útlit verka sem við bjuggum til:

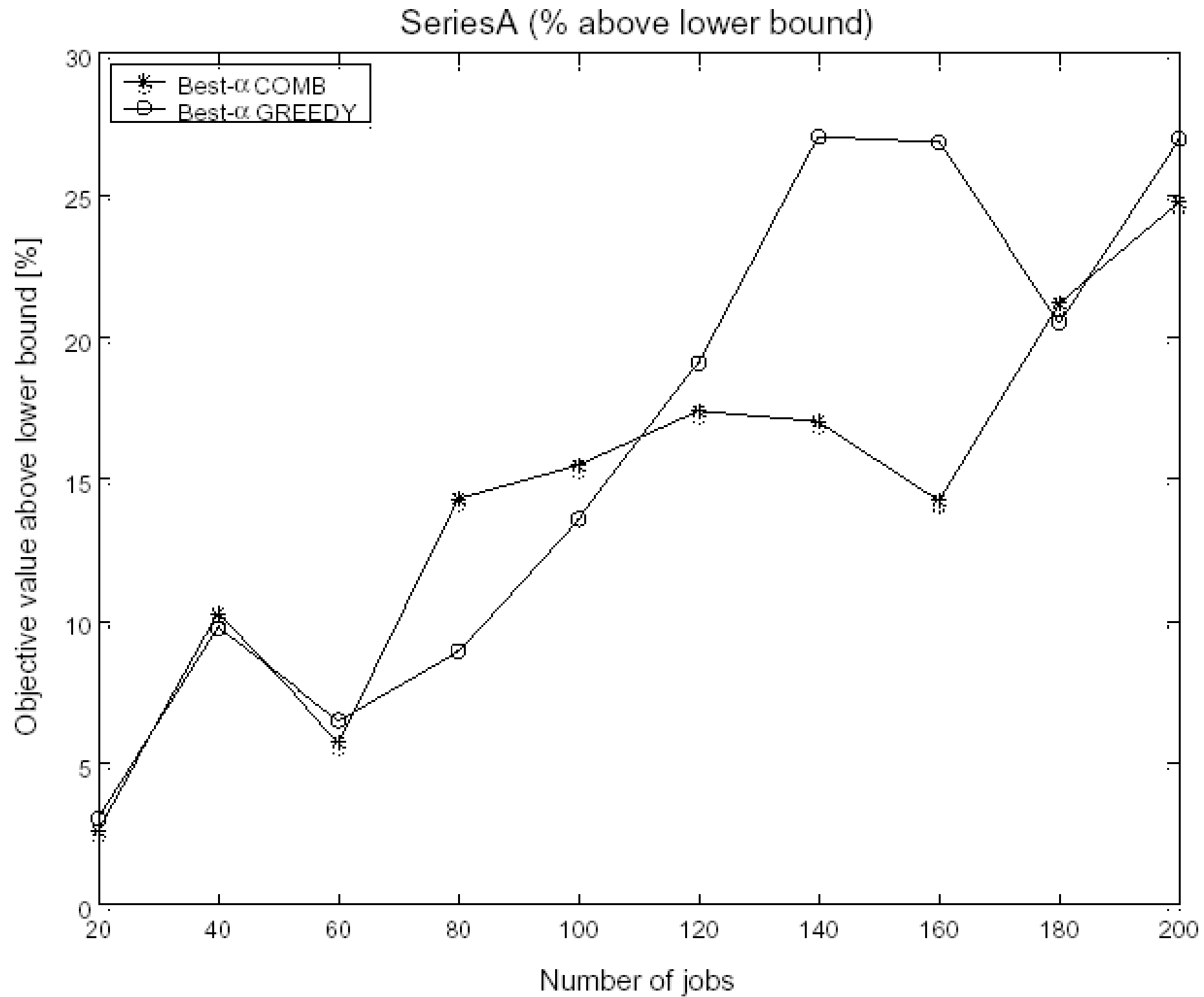


Gögn...

- Gagnasöfn sem við notuðum:
 - Series A skoðar hvernig reikniritin virka þegar vandamálin verða erfiðari (byrjum í litlu vandamáli og bætum sífelld við verkum)
 - Series B skoðar hvað gerist þegar vandamálin stækka (byrjum með lítið vandamál og bætum við verkum, tæknimönnum og byggingum)

Series (jobs)	Tasks	Crew	Certs	Techs	C. per. T.	Fac. types	Fac. hours
A (20)	212	1-6	100	300	3-5	30	100
A (100)	1060	1-6	100	300	3-5	30	100
A (200)	2120	1-6	100	300	3-5	30	100
B (20)	212	1-6	100	150	3-5	6	10
B (100)	1060	1-6	100	750	3-5	6	50
B (200)	2120	1-6	100	1500	3-5	6	100

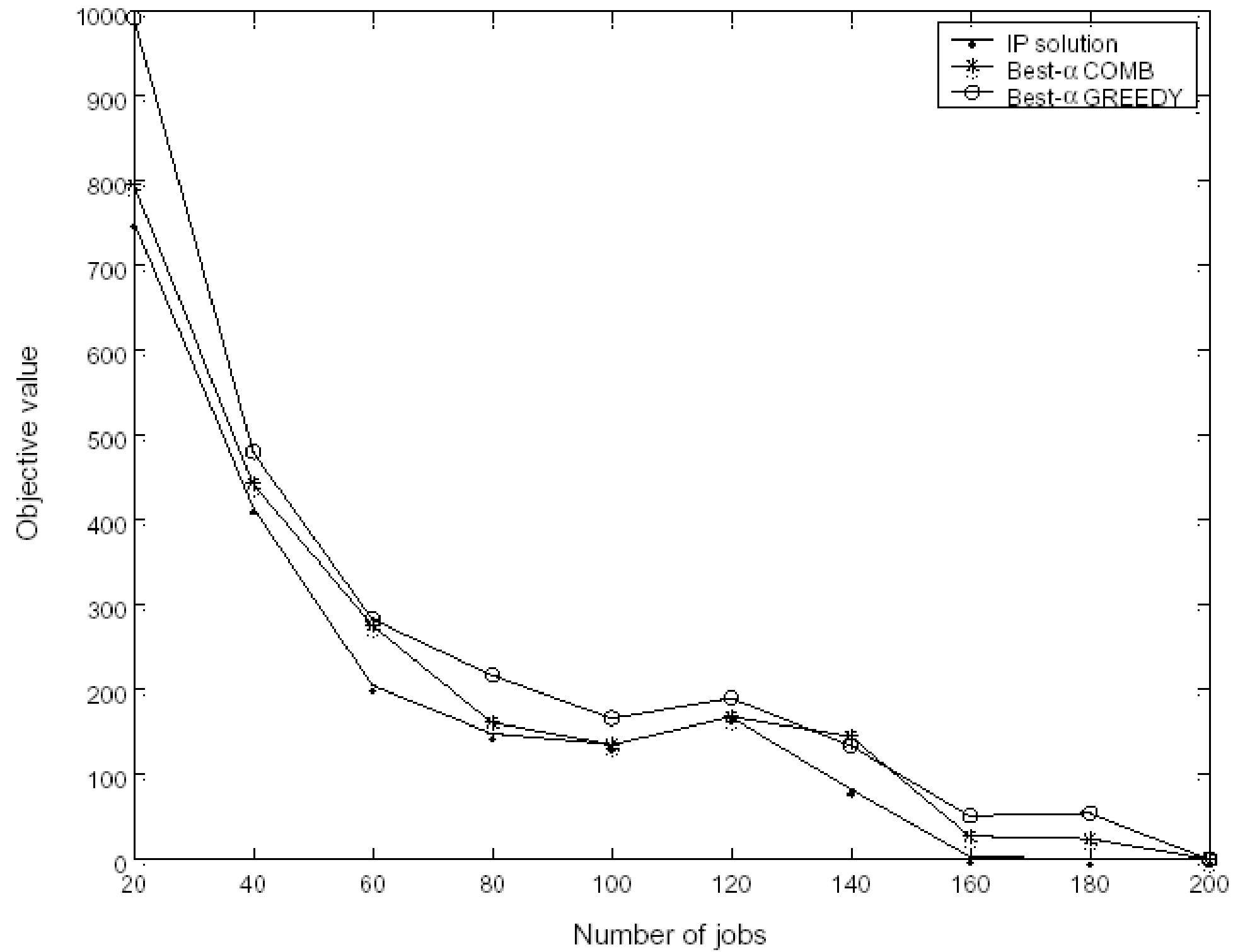
Niðurstöður.



Hlutfall yfir bestu lausn

Niðurstöður.

SeriesB



Niðurstöður.

- Samantekt:
 - Netlíkanið kom betur út en gráðugar lausnaraðferðir.
 - Við náum að fá, á stuttum tíma, nokkuð góðar lausir á mjög erfiðu vandamáli.
 - Getum blandað saman allskyns aðferðum úr aðgerðarannsóknum til að fá góðar lausnir á mjög erfiðu og praktísku vandamáli.