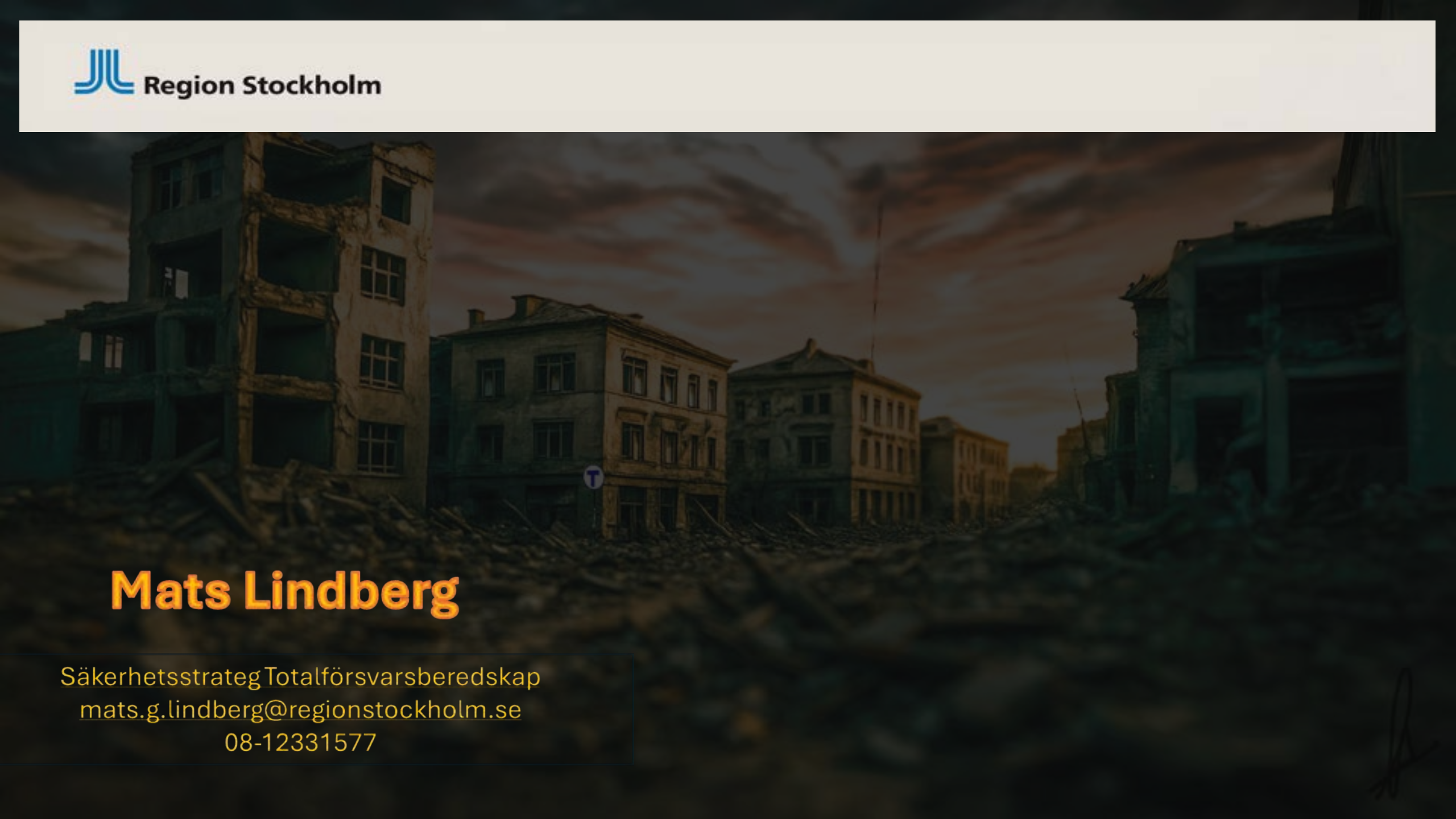




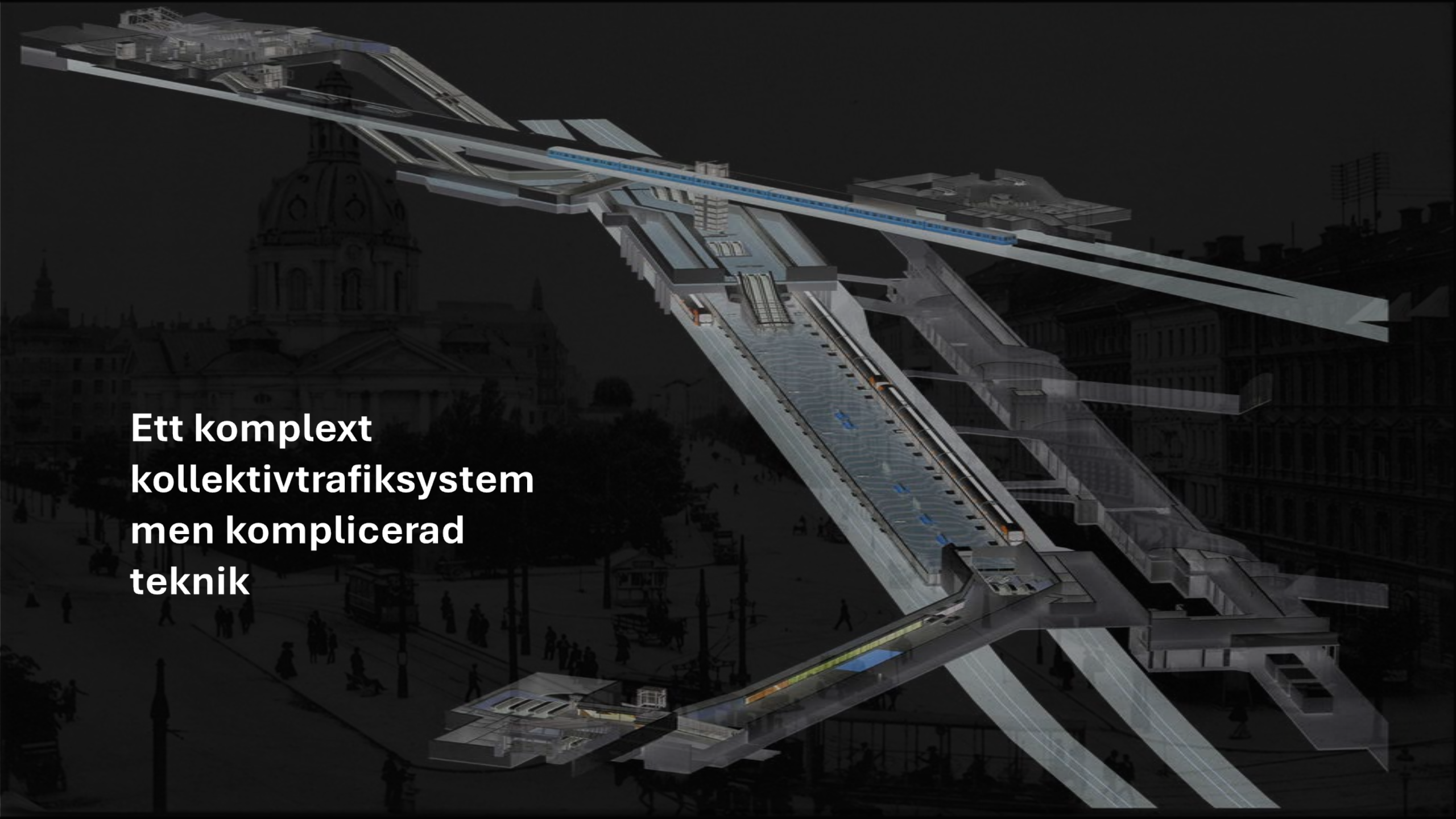
Mats Lindberg

Säkerhetsstrateg Totalförsvarsberedskap
mats.g.lindberg@regionstockholm.se
08-12331577

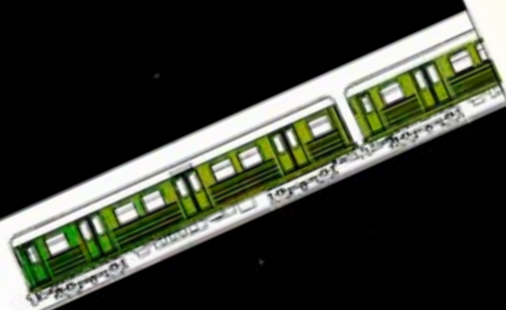
**Ett komplext
kollektivtrafiksystem
men med enkel teknik**

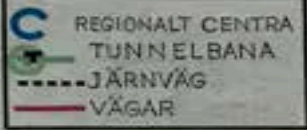


**Ett komplext
kollektivtrafiksystem
men komplicerad
teknik**



TUNNELBANEPLAN FÖR STOR-STOCKHOLM





— vad tycker ni?

Massor av jättelika trafikleder, broar och viadukter. Trafikkaruseller som upptar ytor dubbelt så stora som hela Vällingby. Nya tunnelbanor och expressbussar. Men fortfarande trångt. Massor av människor måste stå och skaka i vagnarna till och från arbetet.

[illegible]

Hur ska vi ha
STOR-STOCKHOLM?

Folk uttrykker klemmer over det nye
og girer off. klemmer over det nye og girer
off. klemmer over det nye og girer off.

- **Are You In The Money?** - Are you a member of the National Association of Manufacturers? If so, you are in the money. The NAM is the largest and most powerful of the industry groups, and it has been successful in getting its members' interests represented in Congress.
- **Are You In The Money?** - Are you a member of the National Association of Manufacturers? If so, you are in the money. The NAM is the largest and most powerful of the industry groups, and it has been successful in getting its members' interests represented in Congress.
- **Are You In The Money?** - Are you a member of the National Association of Manufacturers? If so, you are in the money. The NAM is the largest and most powerful of the industry groups, and it has been successful in getting its members' interests represented in Congress.
- **Are You In The Money?** - Are you a member of the National Association of Manufacturers? If so, you are in the money. The NAM is the largest and most powerful of the industry groups, and it has been successful in getting its members' interests represented in Congress.
- **Are You In The Money?** - Are you a member of the National Association of Manufacturers? If so, you are in the money. The NAM is the largest and most powerful of the industry groups, and it has been successful in getting its members' interests represented in Congress.

BILISMEN

SLUKAR PENGAR

Indigenous man islands village with native
 population known as village of the
 name as 12 villages from till 1960. The
 village was divided into 12 villages
 by the British Government. The village
 was divided into 4 villages.

[illegible]

I en specialundersøgtning fra regjeringen konstaterte velferdssat til befolkningsvoksten at det var spesielle problemer med den kollektive økonomien spesielt relatert til skatte. Her var det derfor direkte årsaken til inntektsveksten og kollektivvoksten. Og så er det viktig 75 prosent av alle i 1980.

Blinderna kan såldes vi frans med 2
mors tider. Man får ett djupare som "av
rot med uppenbarhet" Det betyder att i
blinda blindheten, underkastades de 12
mors tider, underkastades de 12
mors tider, underkastades de 12
mors tider, underkastades de 12

Om de gäller befolkningstjänsten har man konstaterat att ett byggnad ut. Ett nytt utvidgas. Tjänsten kommer vara 1980 ska in expanderar på såväl välfärd och i vissa fall på specialia be.

DERYABANAN

De nye tannestoffningsmetoder:
 ● Jernbeholder med en grøn vill Spen-
 sel og en vill Alende blir godt utfyldt i
 på 30-40 ml. De store trykne stoffene
 Jerns blir sammen med omkring 1973.
 ● Tøytens beholder på Tøytens

- Nachkommen herkömmliche vom Hering
- Heikyrshemmen hilt kinn til Nærø 2004-05
- Einar til Præstingen aka Hirtgummen Begattning frem til Løvdal Kosterum seilteke 1984

● Om Hofmannsønnen pågår further utredninger.

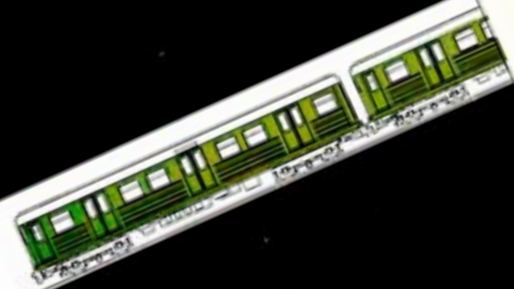
Många säger att utställningen på kvadranten trots allt är för liten.
1995 riktningsregleringen avseende
20 och 25 personer blir även ett y
vissa andra under kvadranten



T

TEKNISK BESKRIVNING AV STOCKHOLMS TUNNELBANA

FÖR STOR-STOCKHOLM



STOCKHOLM OM TIO ÅR

— vad tycker ni?

Massor av jättelika trafikleder, broar och viadukter. Trafikkaruseller som upptar ytor dubbelt så stora som hela Vällingby. Nya tunnelbanor och expressbussar. Men fortfarande trångt. Massor av människor måste stå och skaka i vagnarna till och från arbetet.

En liten översikt över Stor-Stockholms trafik om 10 år. En planering i samarbete med Trafikverket. Den visar hur vi tänkt ut trafiksystemet. Här är de viktigaste linjerna. Här är de viktigaste stationerna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna.

Hur ska vi ha STOR-STOCKHOLM?

För att vi ska kunna ha en god trafik i Stor-Stockholm, måste vi ha en god trafik i Stor-Stockholm. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna.

BILISMEN SLUKAR PENGAR

Enligt en undersökning från Trafikverket, kostar det att ha en bil i Stor-Stockholm. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna.

Enligt en undersökning från Trafikverket, kostar det att ha en bil i Stor-Stockholm. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna.

JÄRVABANAN

Enligt en undersökning från Trafikverket, kostar det att ha en bil i Stor-Stockholm. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna. Här är de viktigaste trafikledningarna.

MITTEN AFFONBLADET



TEKNISK BESKRIVNING AV STOCKHOLMS TUNNELBANA

T

FÖR STOR-STOCKHOLM



STOCKHOLMS TUNNELBANOR 1964 EN TEKNISK BESKRIVNING

T

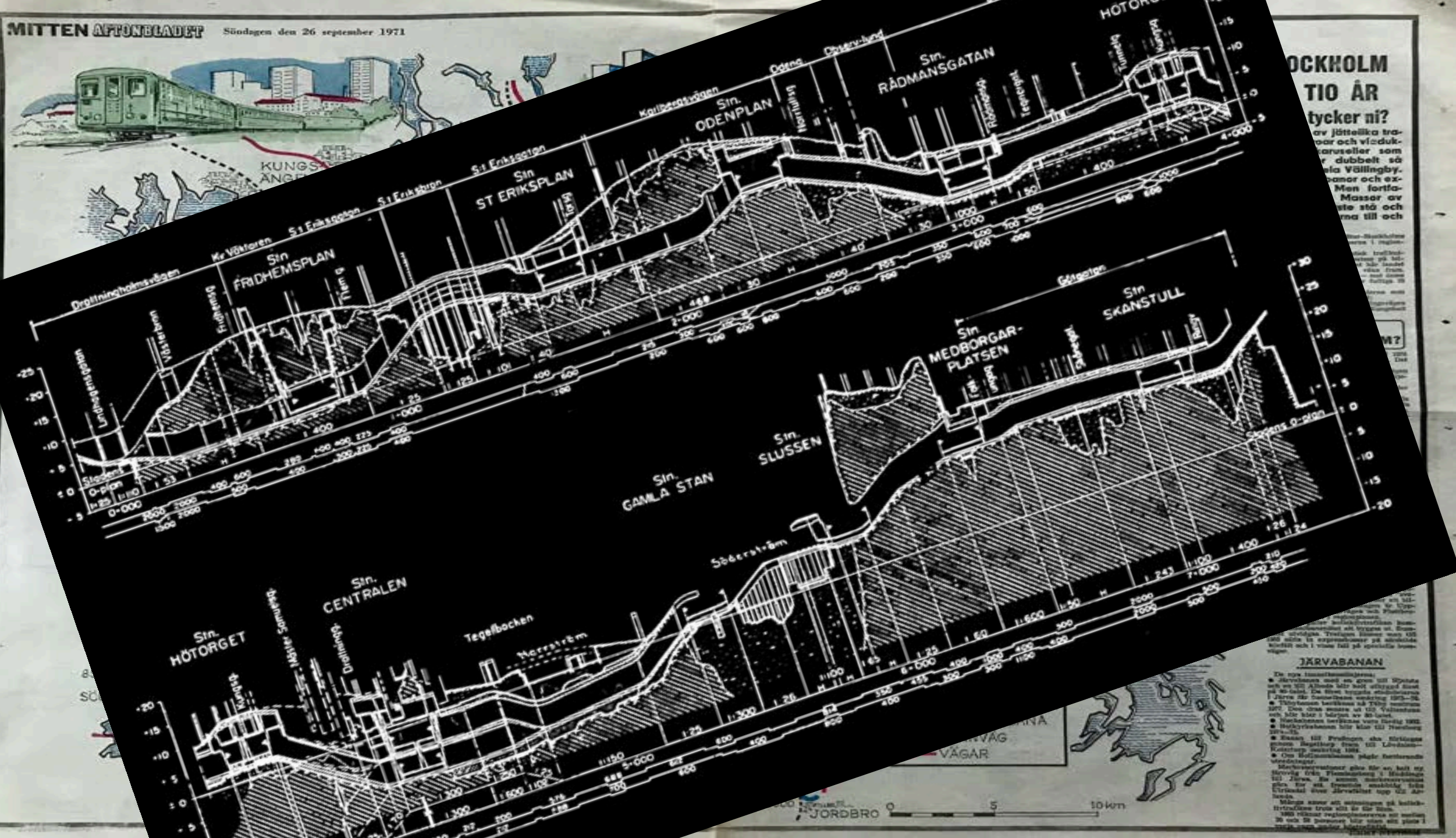
STOCKHOLM
1964

MITTEN AFFONBLADET



Stockholms tunnelbanor 1975





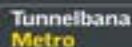
tycker ni?

av jättelika tra-
door och vildruk-
kasteller som
är dubbelt så
stora som Vällingby.
Kamrar och ex-
tra. Men fortfa-
rarna. Massor av
stora stö och
stora till och

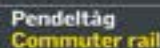
JERVABANAN

- [illegible]

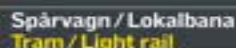




10 11 Blå linjen **Blue Line**
13 14 Røde linjen **Red Line**
17 18 19 Grønne linjen **Green Line**

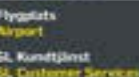


40 41 42 43 44 Pendeltåg Computer rail
45



7	Spårväg City	Tram		
12	Nackebybanan	Tram		
21	Lidingöbanan	Tram		
30	31	Tekniskan	Tram	
25	26	Saltsjöbanan	Light rail	
27	28	29	Roslagsbanan	Light rail

Förklaringar
Key to symbols



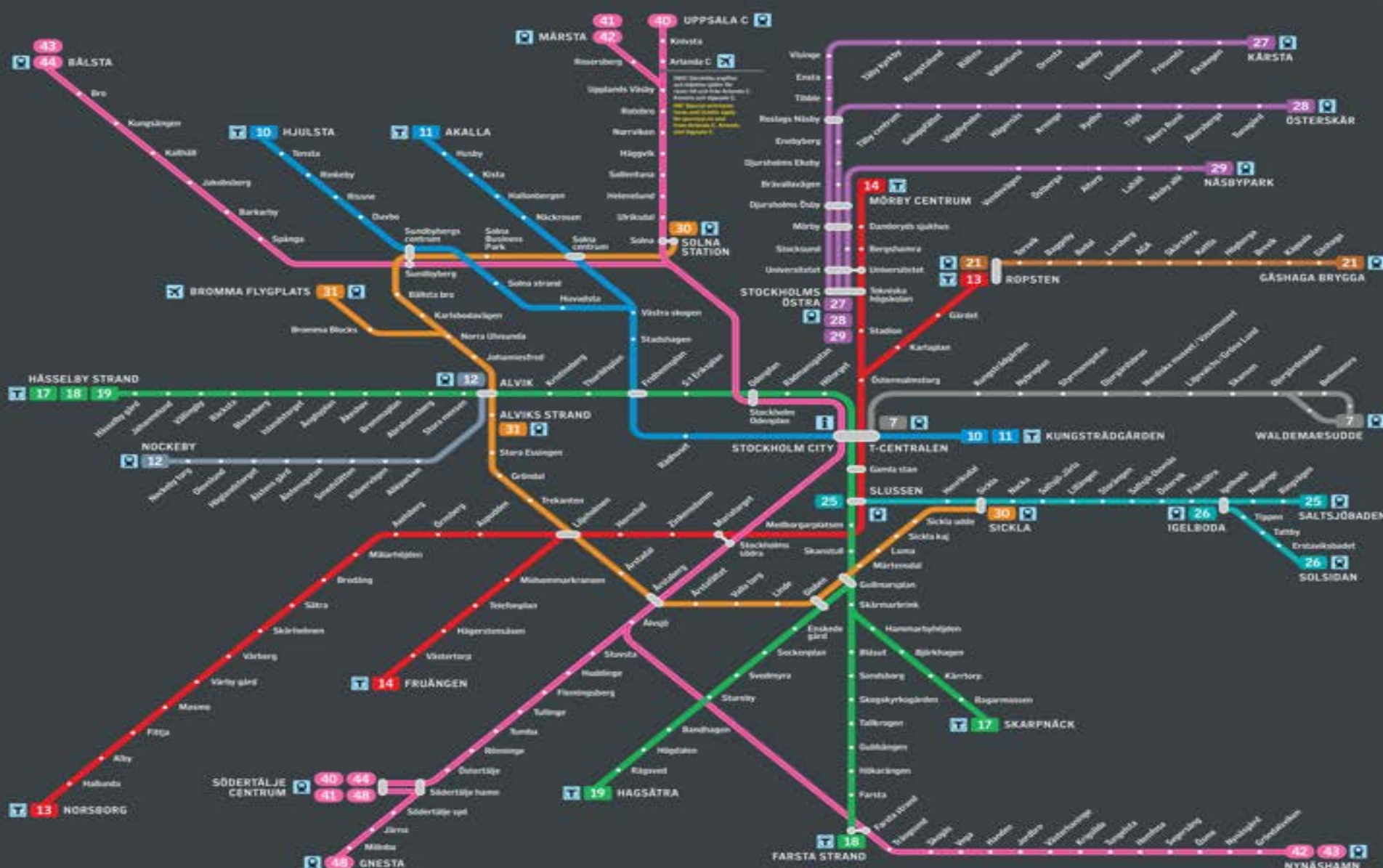
- Bytespunkt
Interchange station
- Bytespunkt med
gångavstånd
Interchange station
within walking distance

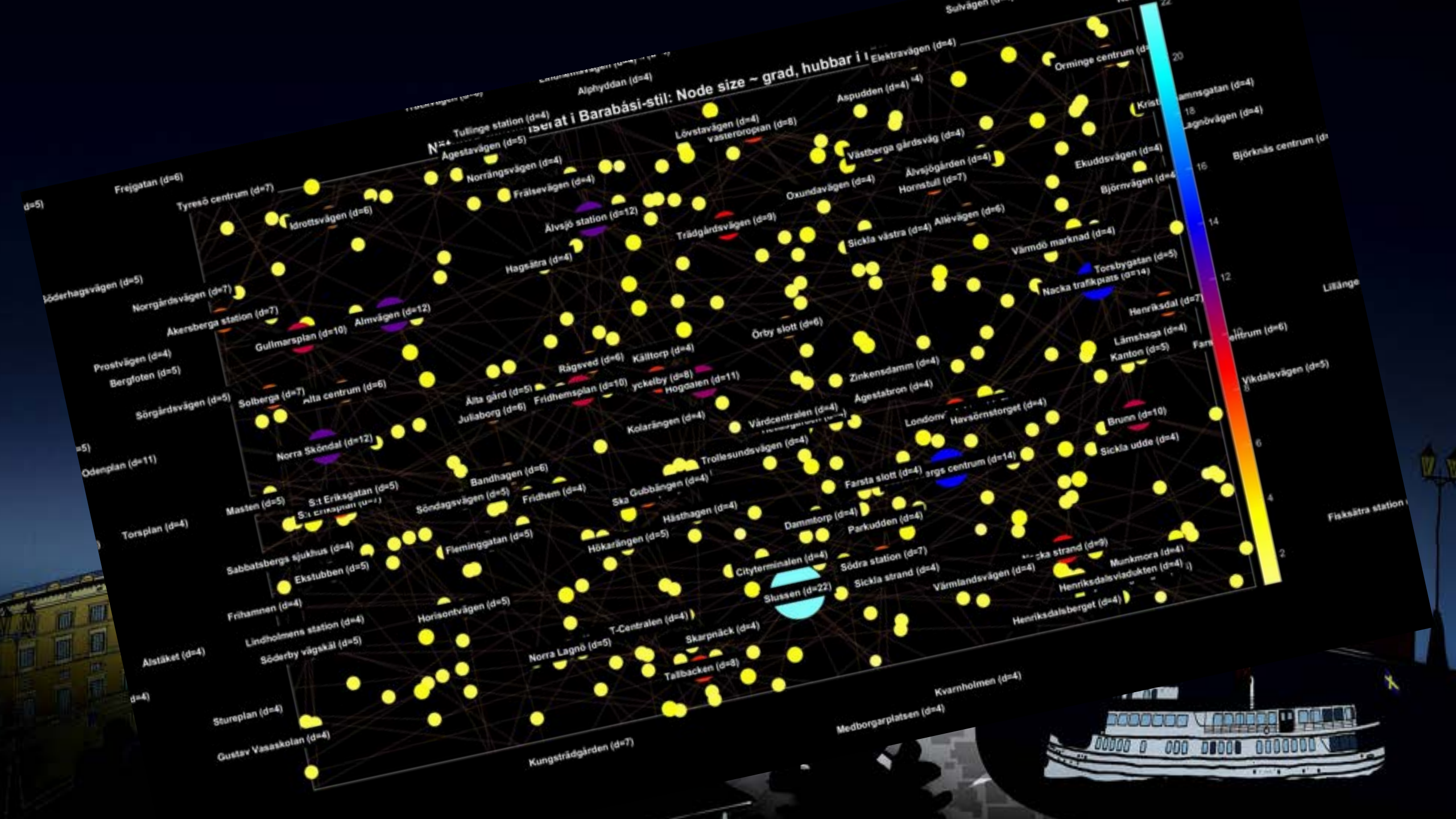
Traffic information
Service information

For information on SL's help
troubleshooting, look it up after ring
the 400-30-30.

Biljetter
Tickets

For information om biljetter och
föringsprocedur, se biljettblad,
s. 56. SL öppnar en kassasall
personer. Skrivs till biljetter och
biljetter gäller för resor till och från
Arlanda C, Kneveby och Uppsala C.





TES 1. STOCKHOLMS KOLLEKTIVTRAFIK KOPPLAT ATT STÖRRE STÖRNINGAR UTGÖR ETT NORMALT OCH OUNDVIKLIGT INSLAG I SYSTEMETS BETENDE

ÅRGUMENT

PREMISSER

P 1.1

NORMALSTÖRNINGSTEORIN BESKRIVER
LOGIKEN.

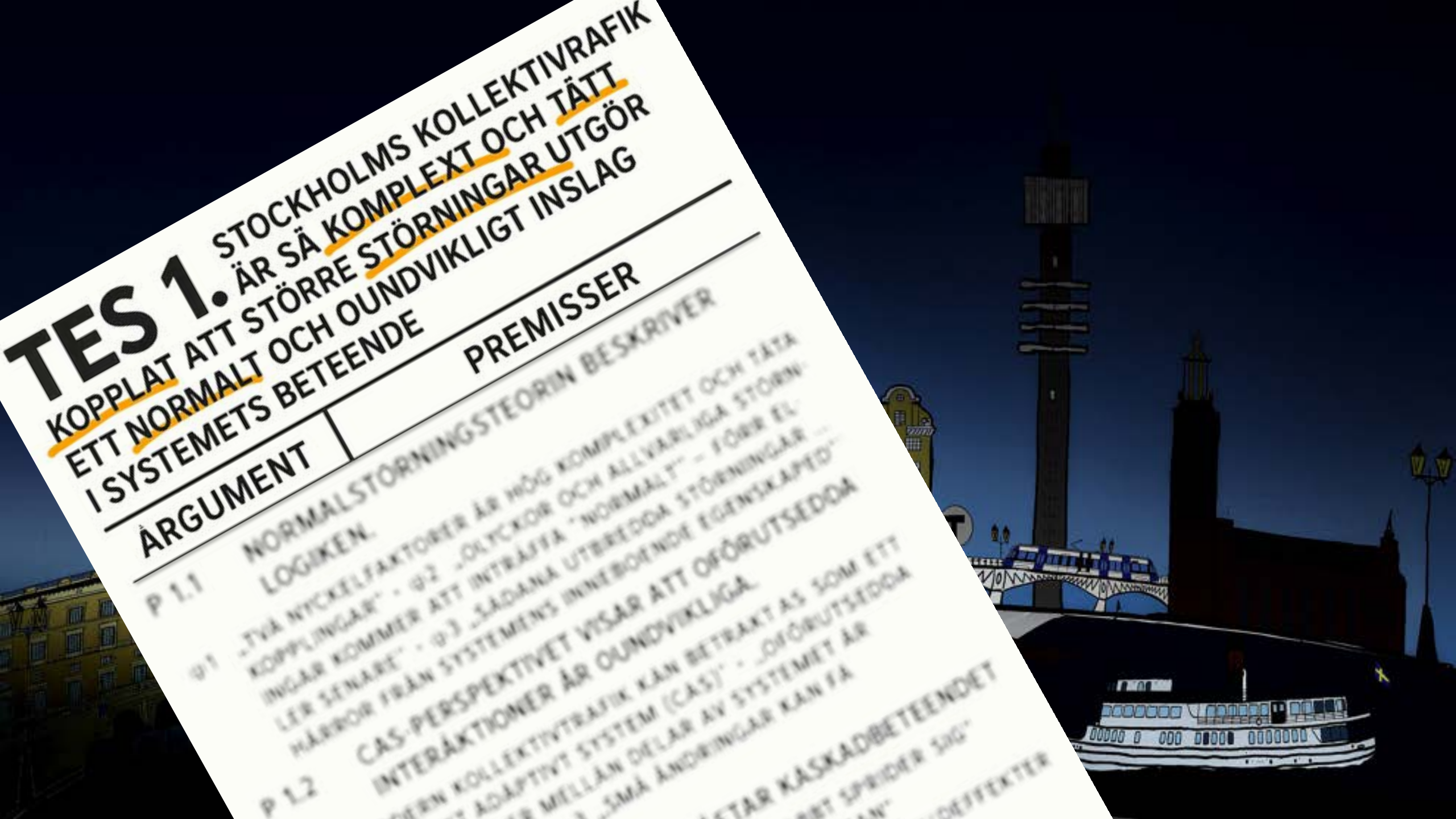
U1

„TVÅ NYCKELFAKTORER ÄR HÖG KOMPLEXITET OCH TÄTA
KOPPLINGAR“ - U2 „OLYCKOR OCH ALLVARLIGA STÖRN-
INGAR KOMMER ATT INTRÄFFA "NORMALT" - FÖRRE EL-
LER SENARE" - U3 „SÄDANA UTBREDDA STÖRNINGAR ...
HÄRROR FRÅN SYSTEMENS INNEBOENDE EGENSKAPER ...

P 1.2

CAS-PERSPEKTIVET VISAR ATT OFÖRUTSEDDA
INTERÅKTIONER ÄR OUNDVIKLIGA.
OM EN KOLLEKTIVTRAFIK KAN BETRÄKTAS SOM ETT
ADAPTIVT SYSTEM (CAS) - „OFÖRUTSEDDA
MELLAN DELAR AV SYSTEMET ÄR ...
SMÅ ÄNDRINGAR KAN FÅ ...

LETAR KASKADBETEENDET
SPRIDER SIG ...
EFFEKTER



TES 1. STOCKHOLMS KOLLEKTIVRAFIK
OPPLAT ATT STÖRRE STÖRNINGAR UTGÖR
ORMALT OCH OUNDVIKLIGT INSLAG
S BETEENDE

PREMISSER

TES 2. DECENNIER AV EFFEKTIVITES-
OPTIMERING HAR TRIMMAT
BORT BUFFERTAR OCH GJORT SYSTEMET
SKÖRT (BRITTLE) SAMT LÅG-RESILIENT.

ARGUMENT

PREMISSER (EXAKTA CITAT)

P 2.1 ETTO-PRINCIPEN FÖRKLARAR MEKANISMEN.

☐ "Hollnagel ... kallar det ETTO-principen (Efficiency-Thoroughness Trade-Off)" • ☐ "Organisationer ... balanserar att vara effektiva ... mot att vara robusta"

TEORIN BESKRIVER

TET OCH TATA

STORN-

EL-

AGAR

AKAPED"

TSEDDA

AS SOM ETT

OFÖRUTSEDDA

ATEMET ÄR

A KAN FA

A KASKADBETEENDET

BET SPRIDER SIG"

AN"

EFFEKTER



TES 1. STOCKHOLMS KOLLEKTIVRAFIK
ÄR SÅ KOMPLEXT OCH TÄTT
ATT STÖRRE STÖRNINGAR UTGÖR
OCH OUNDVIKLIGT INSLAG
BETEENDE

PREMISSER

TES 2. DECENNIER
OPTIMERING
BORT BUFFERTAR OCH
SKÖRT (BRITTLE) SAMT LÅG

ARGUMENT PREMISSER (E)

P 2.1 ETTO-PRINCIPEN FÖRKLARAR

☐ "Hollnagel ... kallar det ETTO-principen
(Thoroughness Trade-Off)" • ☐ "Organisa
balanserar att vara effektiva ... mot att v
4.3 "Tidshollnagel ... process med minimala si

TES 3: NÄTET DOMINERAS AV ETT
FÅTAL HYPERKRITISKA NAV
SOM FUNGERAR SOM SINGLE POINTS OF
FAILURE; DERAS BORTFALL KAN
FRAGMENTERA HELA SYSTEMET.

ARGUMENT P 3 Centralitetsanalyser pekar ut
super-nav

☐ 1 T-Centralen framstår entydigt som
systemets super-hub - ☐ 2 Slussen on
Danderyds sjukhus ... topplacerade i flera
... ☐ 3 några få knutpunkter som
hanterar en oproportionerligt stor
... nav-sårbarhet
... i

TES 1. STOCKHOLMS KOLLEKTIVRAFIK
OPPLAT ATT STÖRRE STÖRNINGAR UTGÖR
SMÅT OCH OUNDVIKLIGT INSLAG
S BETEENDE

PREMISSER

TES 3: NÄTET DOMINERAS AV ETT
FÅTAL HYPERKRITISKA NAV
SOM SINGLE POINTS OF
FAILURE

TES 2. DECENNIER
OPTIMERING
BORT BUFFERTAR OCH GÅ
SKÖRT (BRITTLE) SAMT LÅG

ARGUMENT PREMISSER

P 2.1 ETTO-PRINCIPEN FÖRKLARA
"Hollnagel ... kallar det ETTO-prin
Thoroughness Trade-Off)" • "Org
balanserar att vara effektiva ... mo
A.3 "Tidtabeller ... process med mini

TES 4. ÖMSESIDIGA BEROENDEN
MELLAN BUSS-, SPÅR- OCH
STÖDINFRASTRUKTUR GÖR ATT FEL I
ETT LAGER SPRIDS OCH MULTIPLICERAS

ARGUMENT: INTERDEPENDENS-
SIMULERINGAR DEMONSTRERARAT KOLLAPS.
P 4.1 Interdependens-simuleringar demonstrerar
total kollaps ... Ömtesidiga beroenden

TES 1. STOCKHOLM
ÄR SÅ VIKTIGT
ATT STÖRRA
FORMALT OCH
BET

TES 2. DECE
OPTIM
BORT BUFFERTAR
SKÖRT (BRITTLE)

ARGUMENT

P

P 2.1 ETTO-PRINCIPEN

① "Hollnagel ... kallar d
Thoroughness Trade-
balanserar att vara ef

TES 5. ENDA EN TVÄRVETENSKAPLIG,
PROAKTIV OCH RESILIENSORIEN-
TERAD DESIGN-STRATEGI KAN MINSKA DE
INNEBOENDE SÄRBARHETERNA.

ARGUMENT PREMISER

P 5.1 RAPPORTERNA DEMONSTRERAR VÄRDET
AV INTEGRERAD METOD

① » Genom att kombinera nätverksanalys... med teoretiska
ramverk... framträder en bild » ② » studien visar värdet av a
tt kombinera kvantitativa ... med kvalitativa säkerhetsramver
k » ③ » syftar till att kartlägga och syntetisera kunskap ...
genom integrering av flera ramverk

P 5.2 LATENTA SÄRBARHETER BÖR IDENTIFIFERAS
FÖRE INCIDENT

① » försöka identifiera latent sårbarheter i förväg
② » rekommendation är regelbundna 'stresstester' av tra-
fiknätet » ③ » institutionalisera denna typ av
analys i planeringsprocessen

NDEN
- OCH
FEL I
CERAS

OLLAPS.
nstrerar


```

Comp = keepIdx(bins == find(cSizes==max(cSizes),1));
live(:) = false;
live(maxComp) = true;
steps = steps + 1;
if isequal(prev, alive), break; end

if = sum(alive)/N;

% Model 2: multiplex Buldyrev-kaskad
function [m_inf, steps] = runBuldyrevMultiCascade(networks, dependencies, p)
% networks = cellarray med t lager (varje är en NxN-matris)
% dependencies = LxL där dependencies(i,j) är par [u v]
% p = kvar-sannolikhet
% K = numel(networks);
% Initiera alla lager
alive = cellfun(@(A) rand(size(A,1),1) < p, networks, 'UniformOutput', false);
steps = 0;
while true
    prev = alive;
    % per-lager: ta största komponent
    for k = 1:K
        A = networks{k};
        a = alive{k};
        Gk = graph(A(a,a));
        Gk = conncomp(Gk);
        bins = find(a);
        idx = find(a);
        sizes = histcounts(bins,1:max(bins)+1);
        sizes = idx(bins==find(sizes==max(sizes),1));
        keep = idx(sizes==max(sizes));
        a(keep)=false; a(keep)=true;
        alive{k} = a;
    end
    % sprid beroenden mellan lager
    for i = 1:K
        for j = 1:K
            if i==j, continue; end
            deps = dependencies(i,j);
            for r = 1:size(deps,1)
                if ~alive{i}(deps(r,1))
                    alive{j}(deps(r,2)) = false;
                end
            end
        end
    end
    steps = steps + 1;
    if isequal(prev, alive), break; end
end
% minsta över lager
ratios = cellfun(@(v) sum(v)/numel(v), alive);
m_inf = min(ratios);
end
% BuldyrevCascadeMulti(networks, dependencies, p)
% indelning

```

```

for j = 1:Nnet
    if ~isempty(dependencies(i,j))
        Gmat(i,j) = 1;
        Gmat(j,i) = 1;
    end
end
end
cc = conncomp(graph(Gmat));
m_vals = ones(1, Nnet);
for c = unique(cc)
    members = find(cc == c);
    if numel(members) == 1
        % Enkellager-fall
        A = networks{members};
        N = size(A,1);
        keep = rand(N,1) < p;
        if any(keep)
            bins = conncomp(graph(A(keep,keep)));
            if isempty(bins)
                maxComp = 0;
            else
                edges = 1:(max(bins)+1);
                counts = histcounts(bins, edges);
                maxComp = max(counts);
            end
        else
            maxComp = 0;
        end
        m_vals(members) = maxComp / N;
    else
        % Flera lager - återanvänd din gamla cascadeK-logik
        subNets = networks{members};
        subDeps = dependencies{members, members};
        m_vals(members) = cascadeK(subNets, subDeps, p);
    end
end
m_frac = min(m_vals);

%% hjälpfunktion
function m_inf = cascadeK(nets, deps, p)
K = numel(nets);
% Antal noder i varje sub-nätverk
N1 = cellfun(@(A) size(A,1), nets);

% Initiera alive med rätt längd
alive = cell(K,1);
for k = 1:K
    alive{k} = rand(N1(k),1) < p;
end

% Loop tills konvergens
while true
    prev = alive;
    % Hitta största komponent i varje sub-nätverk
    for k = 1:K
        if ~any(alive{k})
            continue;
        end
        A = nets{k};
        Gk = graph(A(alive{k}, alive{k}));
        Gk = conncomp(Gk);
        bins = find(alive{k});
        idx = find(alive{k});
        sizes = histcounts(bins,1:max(bins)+1);
        sizes = idx(bins==find(sizes==max(sizes),1));
        keep = idx(sizes==max(sizes));
        alive{k}(keep)=false; alive{k}(keep)=true;
    end
    alive = prev;
    if isequal(prev, alive), break; end
end
m_inf = min(m_vals);
end

```



```

Comp = keepIdx(bins == find(cSizes==max(cSizes),1));
live(:) = false;
live(maxComp) = true;
steps = steps + 1;
if isequal(prev, alive), break; end
if = sum(alive)/N;

% model 2: multiplex Buldyrev-kaskad
function [m_inf, steps] = runBuldyrevMultiCascade(networks, dependencies, p)
% networks = cellarray med t lager (varje är en NxN-matris)
% dependencies = LxL där dependencies(i,j) är par [u v]
% p = kvar-sannolikhet
% p = numel(networks);
% initiera alla lager
alive = cellfun(@(A) rand(size(A,1),1) < p, networks, 'UniformOutput', false);
steps = 0;
while true
    prev = alive;
    % per-lager: ta största komponent
    for k = 1:K
        A = networks{k};
        a = alive{k};
        Gk = graph(A(a,a));
        bins = conncomp(Gk);
        idx = find(a);
        sizes = histcounts(bins,1:max(bins)+1);
        sizes = idx(bins==find(sizes==max(sizes),1));
        keep = idx(sizes==max(sizes));
        a(keep)=true;
        a(:)=false; a(keep)=true;
        alive{k} = a;
    end
    % sprid beroenden mellan lager
    for i = 1:K
        for j = 1:K
            if i==j, continue; end
            deps = dependencies(i,j);
            for r = 1:size(deps,1)
                if ~alive{i}(deps(r,1))
                    alive{j}(deps(r,2)) = false;
                end
            end
        end
    end
    steps = steps + 1;
    if isequal(prev, alive), break; end
end
% minsta över lager
ratios = cellfun(@(v) sum(v)/numel(v), alive);
m_inf = min(ratios);
end
% BuldyrevCascadeMulti(networks, dependencies, p)
% modellering

```

$$X_{\text{cat}} \in \{0, 1\}^{N \times (m+n)}.$$

```

for j = 1:Nnet
    if ~isempty(dependencies{i,j})
        Gmat(1,j) = 1;
        Gmat(j,i) = 1;
    end
end
cc = conncomp(graph(Gmat));
m_vals = ones(1, Nnet);
for c = unique(cc)
    members = find(cc == c);
    if numel(members) == 1
        % Enkellager-fall
        A = networks{members};
        N = size(A,1);
        keep = rand(N,1) < p;
        if any(keep)
            bins = conncomp(graph(A(keep,keep)));
            if isempty(bins)
                maxComp = 0;
            else
                edges = 1:(max(bins)+1);
                counts = histcounts(bins, edges);
                maxComp = max(counts);
            end
        else
            maxComp = 0;
        end
        m_vals(members) = maxComp / N;
    else
        % Flera lager - återanvänd din gamla cascadeK-logik
        subNets = networks{members};
        subDeps = dependencies{members, members};
        m_vals(members) = cascadeK(subNets, subDeps, p);
    end
end
m_frac = min(m_vals);

% Hjälpfunktion
function m_inf = cascadeK(nets, deps, p)
K = numel(nets);
% Antal noder i varje sub-nätverk
N1 = cellfun(@(A) size(A,1), nets);

% Initiera alive med rätt längd
alive = cell(K,1);
for k = 1:K
    alive{k} = rand(N1(k),1) < p;
end

% Loop tills konvergens
while true
    prev = alive;
    % Hitta största komponent i varje sub-nätverk
    for k = 1:K
        if ~any(alive{k})
            continue;
        end
        A = nets{k};
        a = alive{k};
        Gk = graph(A(a,a));
        bins = conncomp(Gk);
        idx = find(a);
        sizes = histcounts(bins,1:max(bins)+1);
        sizes = idx(bins==find(sizes==max(sizes),1));
        keep = idx(sizes==max(sizes));
        a(keep)=true;
        a(:)=false; a(keep)=true;
        alive{k} = a;
    end
    % sprid beroenden mellan lager
    for i = 1:K
        for j = 1:K
            if i==j, continue; end
            deps = dependencies(i,j);
            for r = 1:size(deps,1)
                if ~alive{i}(deps(r,1))
                    alive{j}(deps(r,2)) = false;
                end
            end
        end
    end
    steps = steps + 1;
    if isequal(prev, alive), break; end
end

```

$$\min_{\{\mu_1, \dots, \mu_k\}} \sum_{i=1}^N \|x_i - \mu_{c_i}\|^2,$$

$$X = \left[\underbrace{T}_{N \times V} \mid \underbrace{X_{\text{cat}}}_{N \times (m+n)} \right] \in \mathbb{R}^{N \times (V+m+n)}.$$

$$T_{ij} = \underbrace{\frac{B_{ij}}{\sum_k B_{ik}}}_{tf_{ij}} \times \underbrace{\log\left(\frac{N}{df_j}\right)}_{idf_j},$$

där $df_j = \#\{i : B_{ij} > 0\}$.


```

Comp = keepI
ive(:) = fals
ive(maxComp)
steps = steps +
if isequal(prev
if = sum(alive)/

model 2: multiple
on [m_inf, steps]
networks = cellar
% dependencies = LxL
% p = kvar-sannolik
% p = numel(networks)
% initiera alla lag
alive = cellfun(@(A
steps = 0;
while true
prev = alive;
% per-lager: ta
for k = 1:K
A = network;
a = alive(k);
Gk = graph(j
bins = conn
idx = find(i
sizes = hist
keep = idx(i
a(:)=false;
alive(k) = 1
end
% sprid beroendi
for i = 1:K
for j = 1:K
if i==j,
deps = d
for r =
if
end
end
end
steps = steps +
if isequal(prev,
end
% minsta över lager
ratios = cellfun(@(
m_inf = min(ratios);
end

```

Systemisk sårbarhet i Stockholms kollektivtrafik: - En fråga för totalförsvarsberedskap



Sammanfattning

Rapporten "Systemisk sårbarhet i Stockholms kollektivtrafik - En fråga för totalförsvarsberedskap" undersöker hur ett högoptimerat kollektivtrafiksystem riskerar att bli skört vid störningar. Genom tre hypoteser kombinerar studien nätverksanalys, systemtänkande, operationsanalys och organisationsteori i försat av totalförsvar för att kartlägga tekniska, organisatoriska och kognitiva sårbarheter.

För det första visar analysen att effektivitet genom reducerad redundans har tunnlat ut marginalerna i trafikflödena. Redan små avvikelser kan via kaskadeffekter sprida sig snabbt och slå ut stora delar av systemet, vilket bekräftar brittleness-hypotesen. För det andra exponeras ett fötal nät—som T-Centralen och Slussen—som kritiska punkter; bortfall i dessa orsakar systemomfattande fragmentering och trafikstopp, vilket styrker riskerna med single-points-of-failure.

Organisatoriskt identifieras fragmenterad styrning som ett möjligt hinder för krishantering. Med många entreprenörer, otydliga avtal och informationsflöden kan fördröja beslutsfattande och samordning. Dock styrker inte detta men heller inte fabulerar den tredje hypotesen så här behövs det göras mer inom området.

Som teoretisk grund presenteras SR-modellen (Systemic Resilience), som integrerar komplexa adaptiva system, Normal Accident Theory, FRAM och systemtänkande. Den delar in sårbarhet i tre lager—strukturella, operativa och kontextuella—och skapar ett index (SSI) för tidiga varningar när tröskelvärden överskrids.

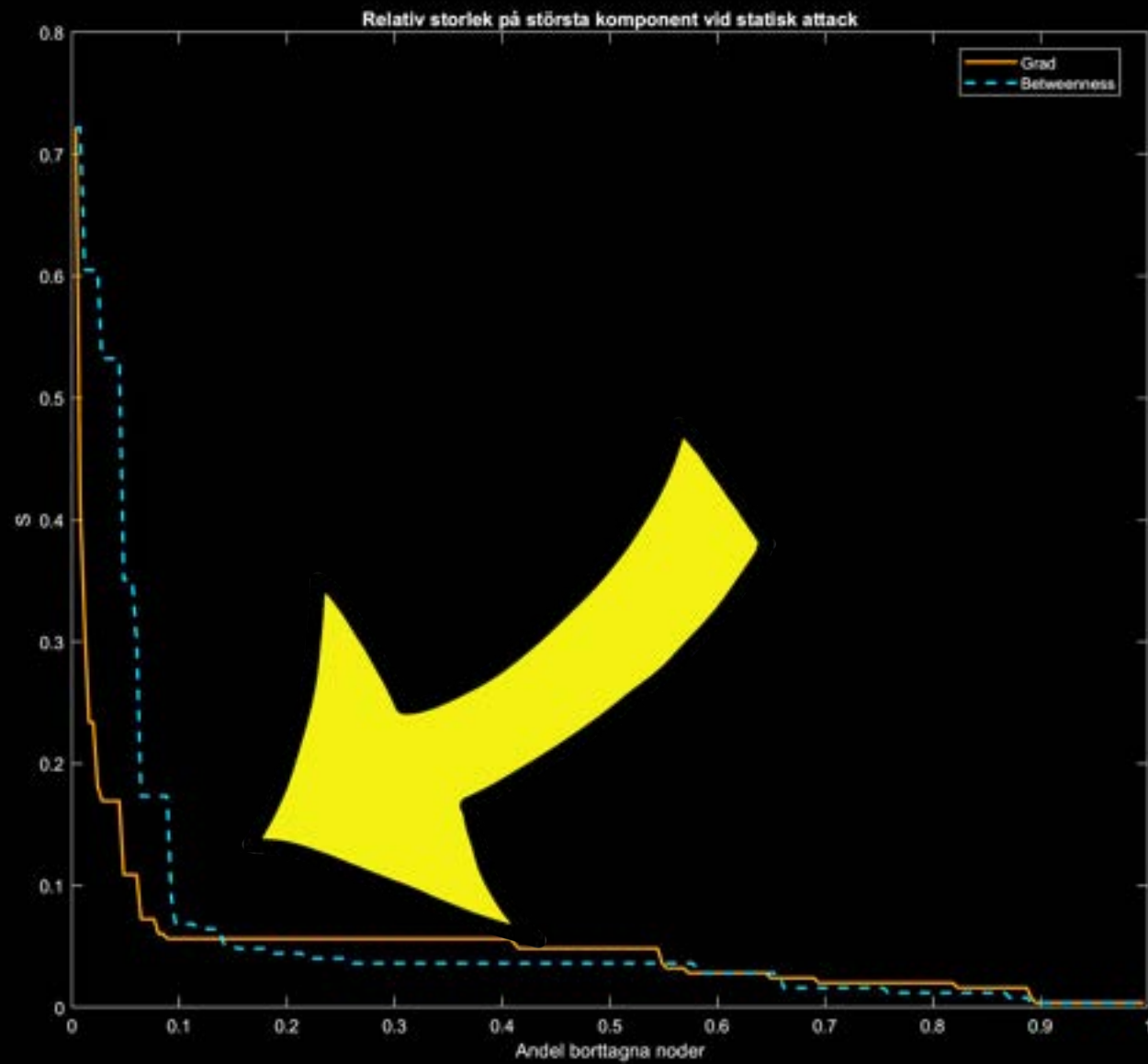
Rekommendationerna betonar behovet av fysiska redundanser, skydd av kritiska nät med reservkraft och dubbla system. Dessutom rekommenderas stresstester och ett tvärvetenskapligt angreppssätt i sårbarhetsanalyser för att långsiktigt stärka systemrobustheten. Implementering kräver ett paradigmskifte där systemrobusthet och systemresiliens ut ett totalförsvarsperspektiv ska ses som en strategisk investering.

$$] \in \mathbb{R}^{N \times (v+m+n)}.$$

$$\log\left(\frac{N}{df_j}\right),$$

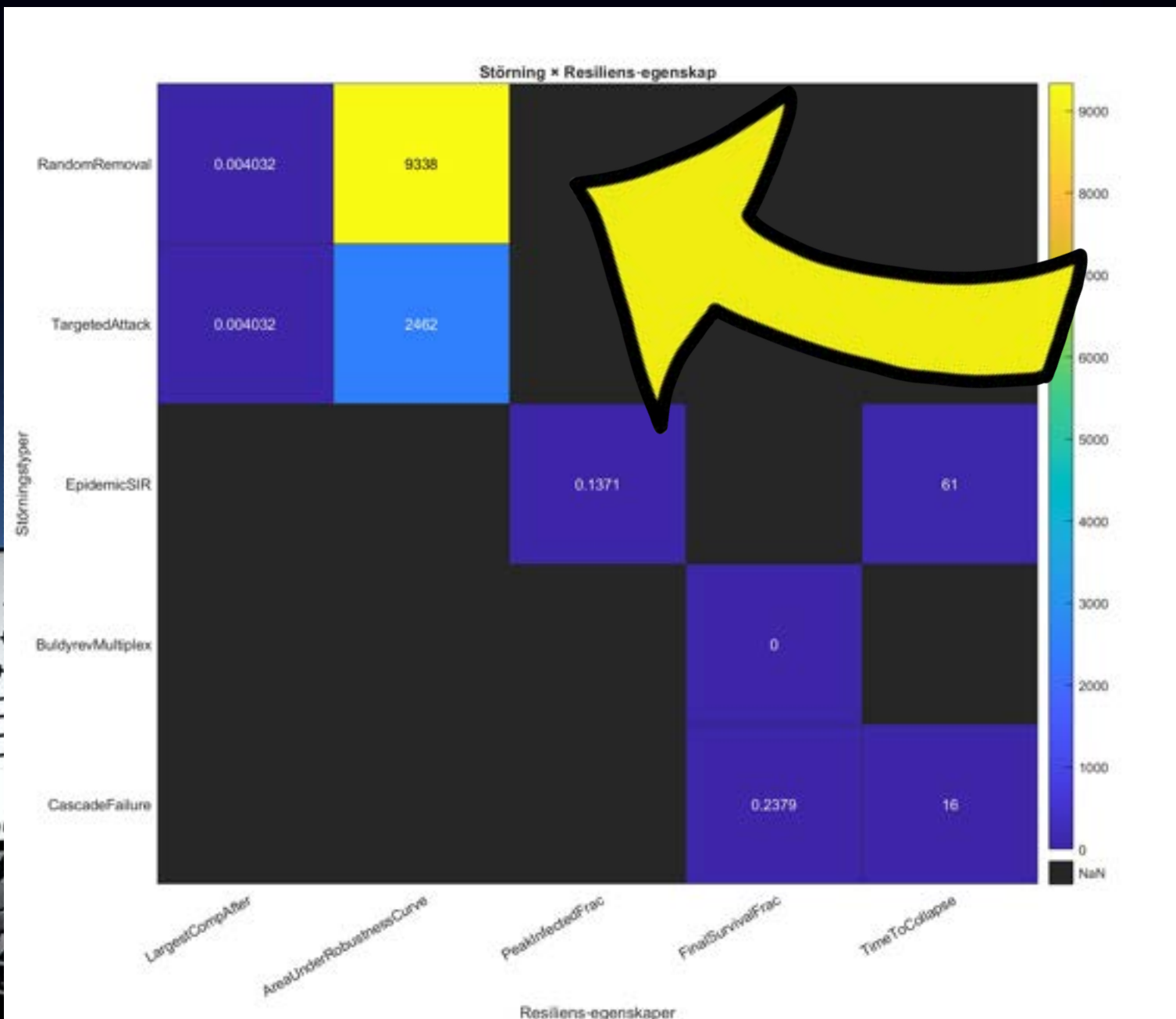
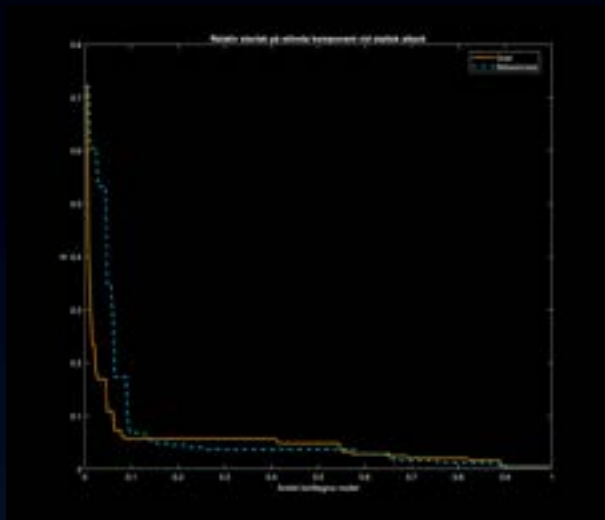
$$idf_j$$



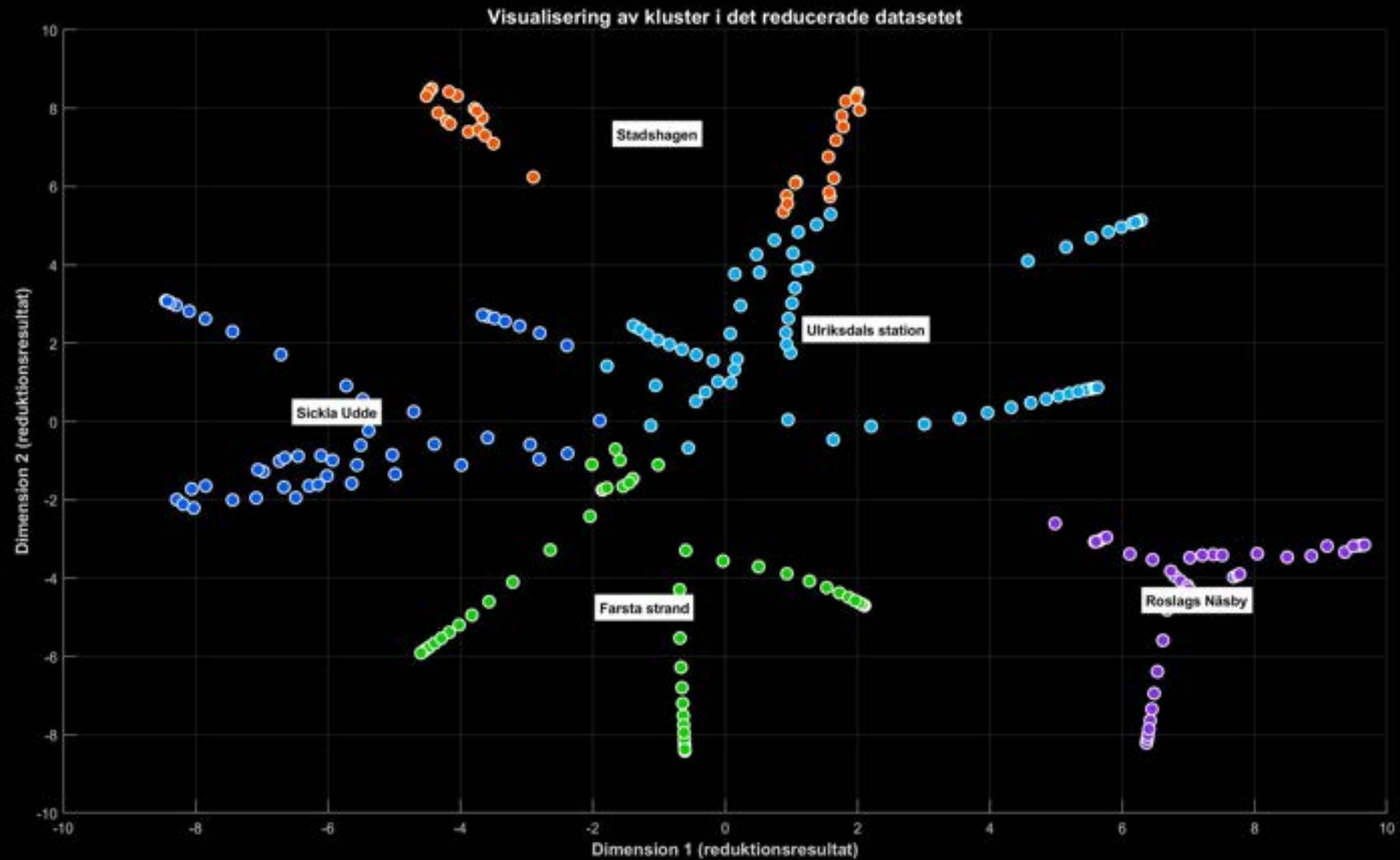


Spårssystemet

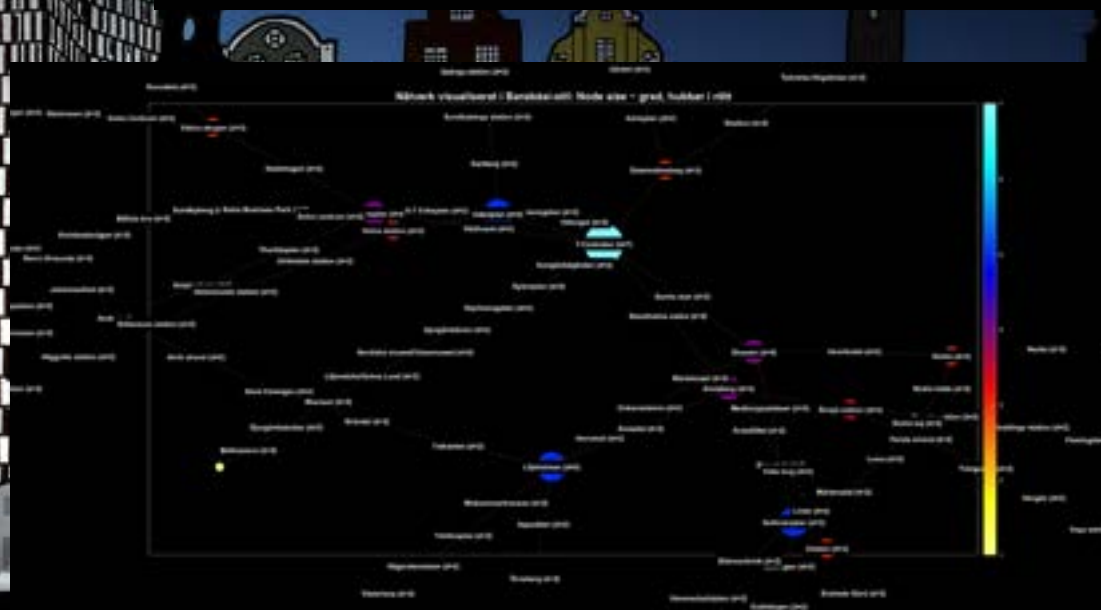
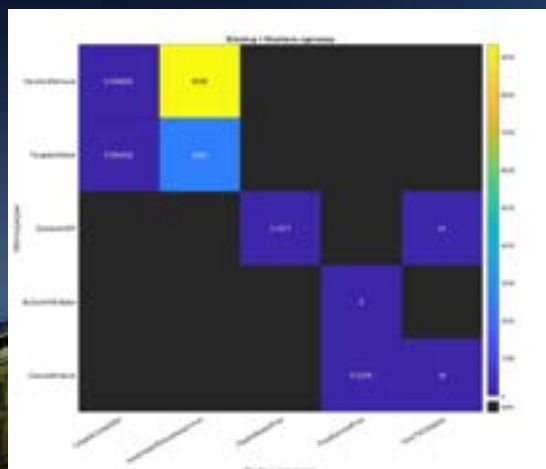
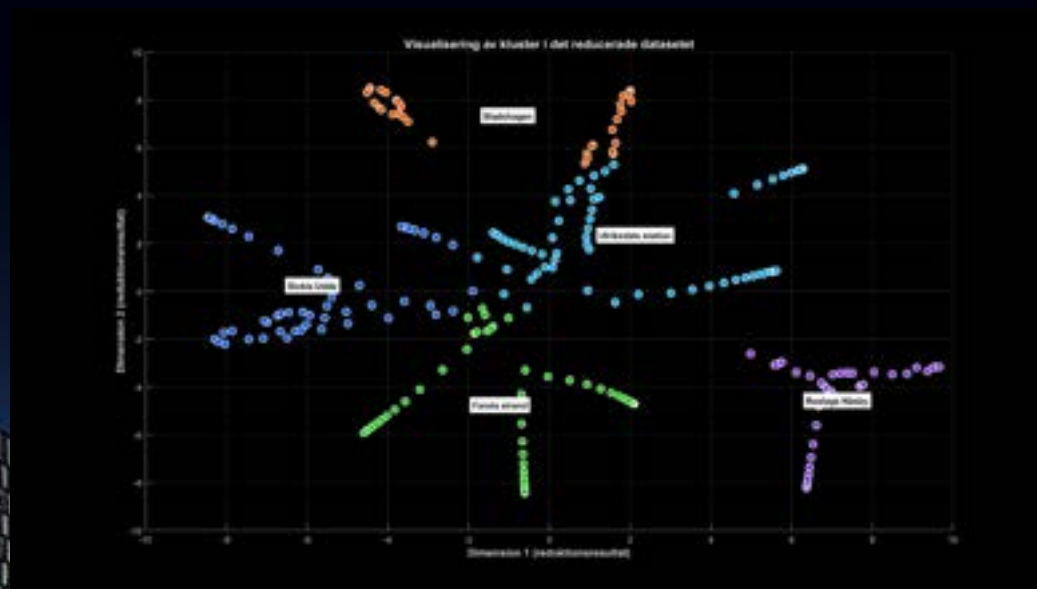
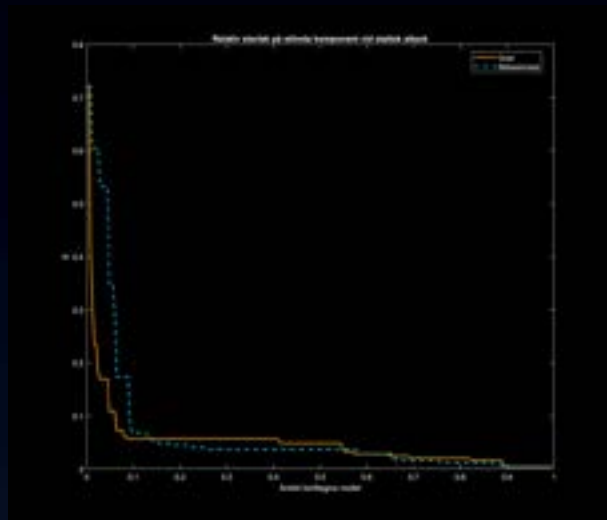




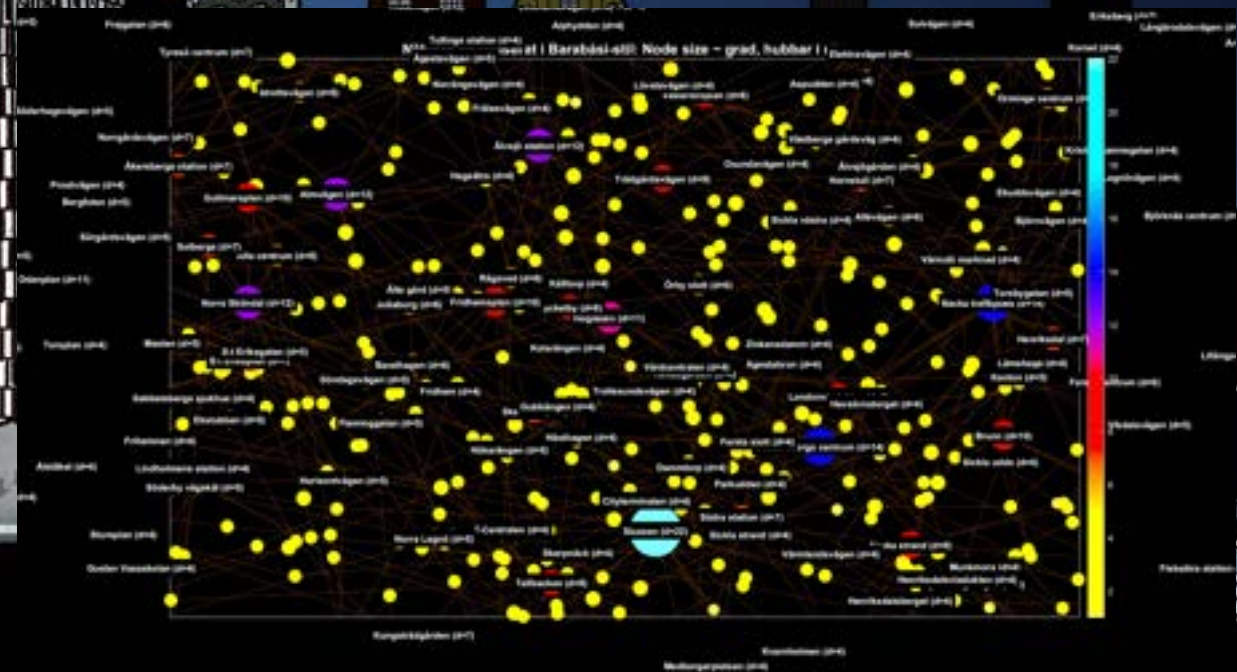
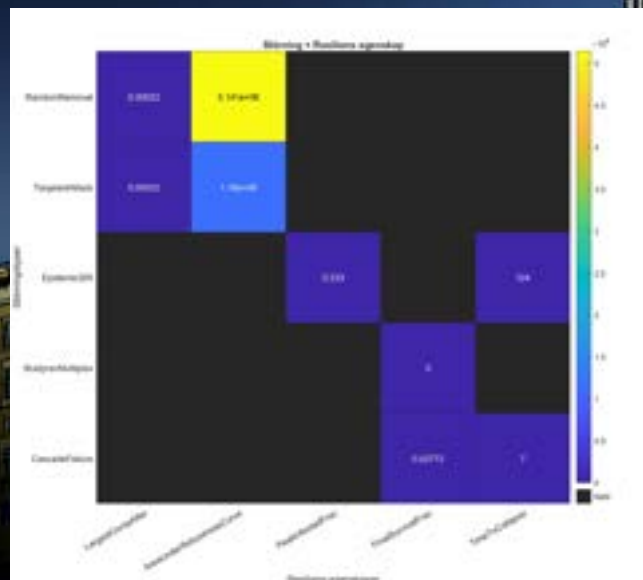
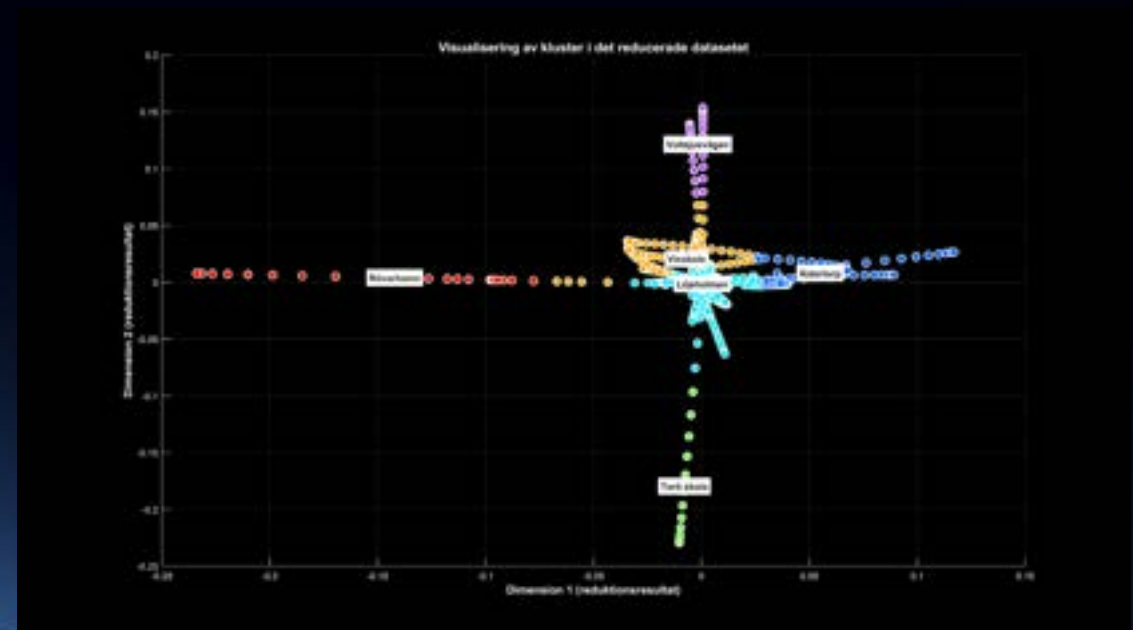
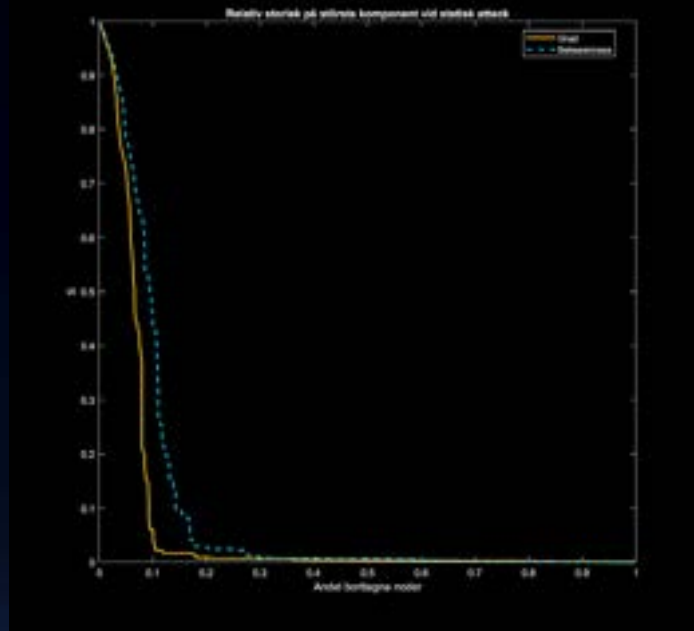
Spårsystemet







Spårsystemet



Bussytemet

Stationernas sårbarhet ($\alpha=0.85$)



Bussytemet

Busstrafiknätet uppvisar således hög effektivitet under normala förhållanden, men skörhet ”**brittleness**” – det vill säga brist på motståndskraft – när det utsätts för påfrestningar utanför det förutsedda

TES 2. DECENNIER AV EFFEKTIVITETS
BORT BUFFERTAR OCH GJORT TRIMMAT
SKÖRT (BRITTLE) SAMT LÅG-RESILIENT.
PREMISSER (EXAKTA CITAT)

ARGUMENT

P 2.1 ETTO-PRINCIPEN FÖRKLARAR MEKANISMEN.
... kallar det ETTO-principen (Efficiency-
... Trade-Off) ... "Organisationer ...
... effektiva ... mot att vara robusta ...
... med minimala tidsmargi-



Tabell: Exempel på centrala stationer enligt olika mått (baserat på top-5 rankning i nätverksanalysen).

Centralitets mått	Nyckelstationer (exempel)
Grad	T-Centralen (7), Alvik (5), Liljeholmen (5), Gullmarsplan (5), Odenplan (5)
Betweenness	T-Centralen (högst), Östermalmstorg, Årstadastadion, Tekniska Högskolan
Eigenvektor	T-Centralen, Odenplan, Årstadastadion
Närhet	T-Centralen

TES 2. DESIGN-STRATEGI
BORT BUFFERTÄR
SKÖRT (BRITTLE)
ARGUMENT

2.1 ETTO-PRINCIPE
kallar

TES 5. ENDAST EN TVÄRVETENSKAPLIG,
PROAKTIV OCH RESILIENSORIEN-
TERAD DESIGN-STRATEGI KAN MINSKA DE
INNEBOENDE SÅRBARHETERNA.
ARGUMENT PREMISSE

6.1 RAPPORTERNA DEMONSTRERAR VÄRDET
INTEGRERAD METOD
nätverksanalys... med teoretiska
studien visar värdet av
samarbete

TES 1. STOCKHOLMS KOLLEKTIVTRAFIK ÄR SÅ KOMPLEXT OCH TÄTT KOPPLAT ATT STÖRRE STÖRNINGAR UTGÖR ETT NORMALT OCH OUNDVIKLIGT INSLAG I SYSTEMETS BETENDE

ARGUMENT	PREMISSER
----------	-----------

- P 1.1 NORMALSTÖRNINGSTEORIN BESKRIVER LOGIKEN
- Ø1 "TVÅ NYCKELFÄRTORER ÄR HÖG KOMPLEXITET OCH TÄTA KOPPLINGAR" - Ø2 "OLUCKOR OCH ALLVARIGA STÖRNINGAR KOMMER ATT INTRÄFFA "NORMALT" - FÖRER EL LER SENARE" - Ø3 "SÄDANA UTBREDDA STÖRNINGAR HÄRROR FRÅN SYSTEMENS INNEBOENDE EGENSKAPER"
- P 1.2 CAS-PERSPEKTIVET VISAR ATT OFÖRUTSÄKTA INTERAKTIONER ÄR OUNDVIKLIGA
- Ø1 "MODERN KOLLEKTIVTRAFIK ÄR SÅ KOMPLEXT ADAPTERAT TILL SINA INTERAKTIONER OCH OUNDVIKLIGT TÄTT KOPPLAT TILL SIN OMGIVNING"

TES 2. DECENNIER AV EFFEKTIVITETS- BORT BUEFFERTAR HAR TRIMMAT SKÖRT (BRITTLE) SAMT LÅG-RESILIENT. PREMISSER (EXAKTA CITAT)

- P 2.1 ETTO-PRINCIPEN FÖRKLARAR MEKANISMER
Ø1 "Hollnagel ... kallar det ETTO-principen (Efficient Thoroughness Trade-Off)" - Ø2 "Organisationer ... balanserar att vara effektiva ... mot att vara roliga" - Ø3 "Tidtabeller pressas med minimala tidsmarginaler"
- P 2.2 NÄTSTRUKTUREN SAKNAR FORMELL REDUNDANS
Ø1 "Systemet uppfyller inte ett N-1-kriterium" - Ø2 "Nätverket saknar trianglar eller andra rutter" - Ø3 "Bussnätet saknar redundanta förtäringar mellan många områden"
- P 2.3 NÄR LAST ELLER FEL ÖKAR KOLLAPSEN
Ø1 "Ett högt optimerat men skört system saknar 'fail-safe'-mekanismer" - Ø2 "prestandan faller inte gradvis, utan störtar när en tröskel passerats" - Ø3 "Kapacitetsklippor ... funktionen kollapsar"
- P 2.3 NÄR LAST ELLER FEL ÖKAR KOLLAPSEN
Ø1 "Ett högt optimerat men skört system saknar 'fail-safe'-mekanismer"

TES 3. NÄTET DOMINERAS AV ETT FÄTAL HYPERKRITISKA NÄT SOM FUNGERAR SOM SINGEL-POINTE-OF-FAILURE; DERAS FRAGMENTERA

ARGUMENT P 3.1

- super-nav
- Ø1 T-Centralen är systemets super-nöd Danderyds sjukhus är ett mått - Ø3 några Slussen ... hanterar del av trafiken
- P 2 Historiska incidenter
- Ø1 "en brand ... ett singelförsörjningen" - Ø2 klipps förbindelsen ... efter bara en hand eliminerats bröts nät
- P 3 Simulerad nav-borttagning systemkollaps
- Ø1 Bussnätet faller nästan medan spårtrafiken fungerar
- Ø2 loggdata ... nästan helt samman

TES 5. ENDAST EN TVÄRVETENSKAPLIG, TERAD DESIGN-STRATEGI KAN MINSKA DE INNEBOENDE SÄRBARHETERNA. ARGUMENT PREMISSER

P 5.1 RAPPORTERNA DEMONSTRERAR VÄRDET AV INTEGRERAD METOD

- Ø1 "Genom att kombinera nätverksanalys ... med teoretiska ramverk ... framträder en bild" - Ø2 "studien visar värdet av att kombinera kvantitativa ... med kvalitativa säkerhetsramverk" - Ø3 "syftar till att kartlägga och syntetisera kunskap ... genom integrering av flera ramverk"
- P 5.2 LATENTA SÄRBARHETER BÖR IDENTIFIERAS FÖRE INCIDENT
- Ø1 "försöka identifiera latenta sårbarheter i förväg" - Ø2 "rekommendation är regelbundna 'stresstester' av trafiknätet" - Ø3 "institutionalisera denna typ av analys i planeringsprocessen"
- P 5.3 KONKRETA ÅTGÄRDER FÖR ÖKAD RESILIENS KRÄVER MEDVETEN DESIGN
- Ø1 "Robustare design kunde ha inneburit alternativa rutter" - Ø2 "Behov av resiliensorienterad design och beredskap" - Ø3 "Ett resilienssystem hade haft fler redundanta kopplingar"
- Ø1 "Robustare design kunde ha inneburit alternativa rutter" - Ø2 "Behov av resiliensorienterad design och beredskap" - Ø3 "Ett resilienssystem hade haft fler redundanta kopplingar"

TES 4. ÖMSESIDIGA BEROENDEN MELLAN BUSS-, SPÅR- OCH STÖDINFRASTRUKTUR GÖR ATT FEL I ETT LAGER SPRIDS OCH MULTIPLICERAS

ARGUMENT: INTERDEPENDENS-
SIMULERINGAR DEMONSTRERARAT KOLLAPS.

- P 4.1 Interdependens-simuleringar demonstrerar total kollaps. Ø1 "ömsesidig interdependens ... ledde till total kollaps även av det andra nätet" - Ø3 "simuleringen ... kan leda till total systemkollaps" - Ø3 "fel sprider sig vid gemensamma bytespunkter"
- P 4.2 Empiriska observationer visar kors-effekter. Ø1 "om tunnelbanan får ett stopp ... belastningen på bussarna exponentiellt" - Ø2 "pendeltågen slutade stanna ... busshållplatsen intill förlorar sin funktion" - Ø3 "år 2005 ... stoppade all tågtrafik i flera timmar"
- P 4.3 Helhetsperspektiv krävs för att se dolda kopplingar.
- Ø1 "dess kritiska kopplingar överskrider organisatoriska gränser" - Ø2 "vi måste se kollektivtrafiken som ett socio-tekniskt system i flera lager" - Ø3 "sårbarheter betraktas som emergenta risker ... kräver analysmetoder ..."
- Ø1 "Helhetsperspektiv krävs för att se dolda kopplingar" - Ø2 "dess kritiska kopplingar överskrider organisatoriska gränser" - Ø2 "vi måste se kollektivtrafiken som ett socio-tekniskt system i flera lager"

