

## Forsøk med Krenging

Kjøretidsberegninger  
og  
Lønnsomhetsberegninger

Aktiv og passiv krenging

NSB Hovedkontoret  
Bil/Motortet

**NSB Maskinavdelingen**

M/Ko  
M/Tekn.lab

K. Serigstad  
T. Ekrann

Januar 1988

Innledning.....	1
Sammendrag/konklusjon.....	1
<b>Kjøretidsberegninger</b> .....	<b>3</b>
Forutsetninger .....	4
Forklaring til stolpediagrammene .....	4
Bergensbanen (over Roa).....	6
Dovrebanen .....	7
Sørlandsbanen.....	8
Oslo-Kristiansand.....	8
Kristiansand - Stavanger.....	9
Oslo-Stavanger.....	10
Reisehastigheter.....	11
Økt maksimalhastighet.....	12
Passiv krenning.....	13
Aktiv krenning.....	13
<b>Lønnsomhetsberegninger</b> .....	<b>14</b>
Investeringskostnader.....	15
Materielle kostnader .....	15
Vedlikeholdskostnader.....	16
Personalkostnader i driften.....	16
Nødvendige årlige merinntekter ved innføring av krenning .....	17
Inntektsoverslag.....	17
Aktiv krenning.....	18
Passiv krenning.....	18
Nåverdier / internrenter.....	19

## Innledning

På bakgrunn av erfaringene hittil etter prøvekjøringene med krengevogna og resultatene fra prosjektet "Optimalisering av linjens hastighetsprofil", Teknisk FoU nr. 6 1984-86, var det ønskelig å utføre nye kjøretidsberegninger for krengetog. De nye beregningene gir en indikasjon på hvilke reisehastigheter som kan oppnås på dagens traséer. Beregningene er utført for Dovrebanen, Bergensbanen og Sørlandsbanen og er direkte sammenlignbare med beregningene i T FoU nr. 6 "Optimalisering av linjens hastighetsprofil". Beregningene gir således tall for netto kjøretidsforkortelser ved innføring av aktiv krengeing. Kjøretidsforkortelser ved innføring av passiv krengeing er forsøkt estimert.

Effekten av økte maksimalhastigheter på nåværende traséer er beregnet.

Beregningene danner grunnlag for en oppdatert lønnsomhetsberegning for innføring av aktiv eller passiv krengeing.

Lønnsomheten ved innføring av nytt materiell med høyere reisehastighet er blitt vurdert flere ganger tidligere. En slik lønnsomhetsanalyse ble senest gjennomført før FoU-prosjekt "Forsøk med krengeing" ble vedtatt oppstartet i 1984. Med utgangspunkt i disse overslagene fra 1983 (Sa KHa), og med hensyn tatt til de nye kjøretidsberegningene, vil det her bli foretatt en grov oppdatering av lønnsomhetsberegningene for innføring av krengetog.

Forutsetningene som ble lagt til grunn for beregningene i 1983 blir også benyttet ved denne oppdatering, såsant annet ikke er spesifisert. Der den aktuelle prisstigning ikke er kjent benyttes en omregningsfaktor på 1,4 fra 1983-kroner til 1987-kroner.

Ved beregning av nødvendig årlig merinntekt for å gi balanse for investeringene i krengeutstyr, benyttes som tidligere en kapitalkostnad på 7 % p.a.

## Sammendrag/konklusjon

Kjøretidsberegningene viser at en ved innføring av aktiv krengeing kan oppnå mellom 9,7 og 11,3% kortere kjøretider enn hva som er oppnåelig med dagens E17 og type 7-materiell.

Tabellen viser reisetider som kan oppnås på kort sikt ved innføring av **aktiv krengeing**, samt mulig innsparing ved full utnyttelse av nåværende E17 + type 7 kjørt ved **ordinære pluss-hastigheter**. Reisetider ved innføring av **passiv krengeing** vil ligge et sted mellom disse tidene, - men nærmest tidene for ordinære pluss-hastigheter.

		Aktiv krengeing (+30%)		Pluss-hastigheter (+10%)	
Bergensbanen		5:45	(-45 min)	6:13	(-17 min)
Dovrebanen		5:55	(-37 min)	6:20*	(-12 min)
Sørlandsbanen	Oslo - Stavanger	6:45	(-92 min)	7:11	(-66 min)
	Oslo - Kr.sand	3:55	(-50 min)	4:12	(-33 min)
	Kr.sand - Stav.	2:40	(-32 min)	2:49	(-23 min)

(Reduksjon i forhold til dagens ruter (1987) i parentes)

Beregningene viser at det ennå også er mulig å oppnå betydelige reisetidsforkortelser ved full utnyttelse av E17 og Type 7, -da særlig på Sørlandsbanen.

Ved innføring av passiv krengeing antas reisetidene å kunne forkortes med ca 3-4% i forhold til maksimal utnyttelse av E17 og Type 7.

Reisehastigheten vil for Dovrebanen og Sørlandsbanens vedkommende komme opp i drøyt 90 km/h ved innføring av aktiv krengeing. Tilsvarende vil reisehastigheten på Bergensbanen selv med aktiv krengeing ikke komme opp i mer enn drøyt 85 km/h.

\* Antatt oppnåelig reisetid ved ordinære pluss-hastigheter

Økte maksimalhastigheter gir bare små reisetidsforkortelser. Imidlertid er gevinsten betydelig større ved aktiv krenning enn ved dagens overhastigheter. På grunn av traséenes kurvatur og stigningsforhold kreves imidlertid gode aksellerasjonsegenskaper for materiellet for å utnytte høyere maksimalhastigheter.

Det bør etter vår mening, ved innføring av **aktiv krenning**, være gode muligheter for turnering av ekspresstogene på Sørlandsbanen innenfor de tidsrammer det her er snakk om (tidligst 1992). Prosjektet vil i så fall ha en **Internrente** godt over den vanlig benyttede verdi på 7 %, selv med ugunstige forutsetninger som 25 % tillegg i vognprisen (for aktiv krenning) og en reisetidselastisitet på 0,7 %.

Vogn/boggileverandører mener å kunne bygge vogner/boggier for **passiv krenning** uten særlige merkostnader. Selv med 5 % tillegg i vognprisen vil imidlertid internrenten være høy, såsant de investerte midler til prosjektet "Forsøk med krenning" ikke regnes med. Disse pengene er allerede benyttet, og det er uklart om det er rimelig å ta disse med i betraktningen ved vurdering av lønnsomheten for videre investeringer i krengende tog.

Det er verd å merke seg at lønnsomhetsberegningene som her er foretatt kun tar hensyn til eventuelle innsparinger for ekspresstogene på Dovrebanen og Sørlandsbanen. Det er rimelig å anta at dersom krengende tog blir innført, vil også andre fjernstrekninger etter hvert nyte godt av dette. Dersom passiv krenning blir valgt vil denne også være av stor interesse ved anskaffelse av nytt intercitymaterieill. De påløpte utviklingskostnadene vil i så fall kunne fordeles på flere vogner.

## Kjøretidsberegninger

## Forutsetninger

Beregningene er gjort med stort sett samme stoppmønstre som for dagens ekspress tog. Der beregningsgrunnlaget avviker fra dagens ruter, er det beregnet en korrigeret rute. Dette muliggjør direkte sammenligninger. Det er benyttet samme reservertider som for dagens ruter i alle beregningene.

	Sørlandsbanen				
	Bergensbanen	Dovrebanen	Oslo-Krs	Krs-Stav	Oslo-Stav
Reservertid	10 min	10 min	10 min	7 min	17 min
Oppholdstid	12 min	18 min	10 min (25)	12 min	32 min (47)
Antall stopp mellom endestasi	10	12	6 (12)	9	16 (22)
Midlere avstand mellom stopp	42,5 km	40,1 km	50,4 km (27,2)	23,4 km	34,5 km (25,5)

Tall i parantes gjelder Rute 1987

**Baneteknisk** vil den standarden som Teknisk FoU nr. 6, "Optimalisering av linjens hastighetsprofil" forutsetter, være oppnådd på størstedelen av de aktuelle banene innen utgangen av 1989. Under forutsetning av at skinnekreftene kan holdes på et akseptabelt nivå, vil en da for banelegemets del kunne framføre tog med 30% overhastigheter (Se Aktiv kringing).

Tilsvarende standard for **kjøretråden** (min 130 km/h) vil det ta noe lenger tid før en oppnår. Foreliggende planer er gjengitt i nedenstående tabell:

Bergensbanen	Ferdig 1992	Ikke Finse-Mjølfjell (Erstattes delvis av Høghellertunnelen)
Dovrebanen	Ferdig 1991-92	
Sørlandsbanen	Oslo-Lunde	ferdig 1990
	Lunde-Kr.sand	ferdig 1993
	Kr.sand-Egersund	ferdig 1990
	Egersund-Stavanger	ferdig 1988

Idag er gammel kjøretråd dimensjonert for 100 km/h på Dovrebanen og Bergensbanen. På Sørlandsbanen er dimensjonerende hastighet på de eldste anleggene 70km/h, men hastigheter inntil 100 km/h tillates for ekspress togene.

Alle beregningene er utført for tog tilsvarende lok E117 + 6 stk type 7 vogner. (For tog med 8 vogner blir kjøretidene rundt 5min lenger enn de beregnede tidene)

For hver bane er det estimert en kjøretid som kan være realistisk på kort sikt (3 år):

Beregnet kjøretid for E1 17 + type 7 (+hastighet) er forkortet med 2/3 av netto gevinst av aktiv kringing (dvs differansen mellom E117 + type7 (+ 10%) og Aktiv kringing (+ 30%)).  
(For Dovrebanen er kjøretiden 6:20 benyttet som beregningsgrunnlag.)

Eksempel Bergensbanen:

E1 17 + type 7 (+ hastighet)	6:13
- 2/3 av differanse mellom + 10% og + 30%	2/3•0:40 =0:27
= Oppnåelig reisetid på kort sikt	=5:45

Enda kortere kjøretider kan oppnås innenfor samme tidsramme ved en forsert standardforbedringen av kjøretråden. Full utnyttelse av potensialet ved innføring av kringing kan ellers oppnås i 1993.

## Forklaring til stolpediagrammene

Diagrammene viser kjøretider for følgende tilfeller:

- Hastighetsklasse 1 ----- (Bare Dovrebanen)
- Rute 1987
- EI 17 + type 7 (+ hastighet) ----- (Ikke Dovrebanen)
- EI 17 + type 7 (+10%)
- Passiv krenning (+20%) ----- (Ikke Bergensbanen)
- Aktiv krenning (+30%)

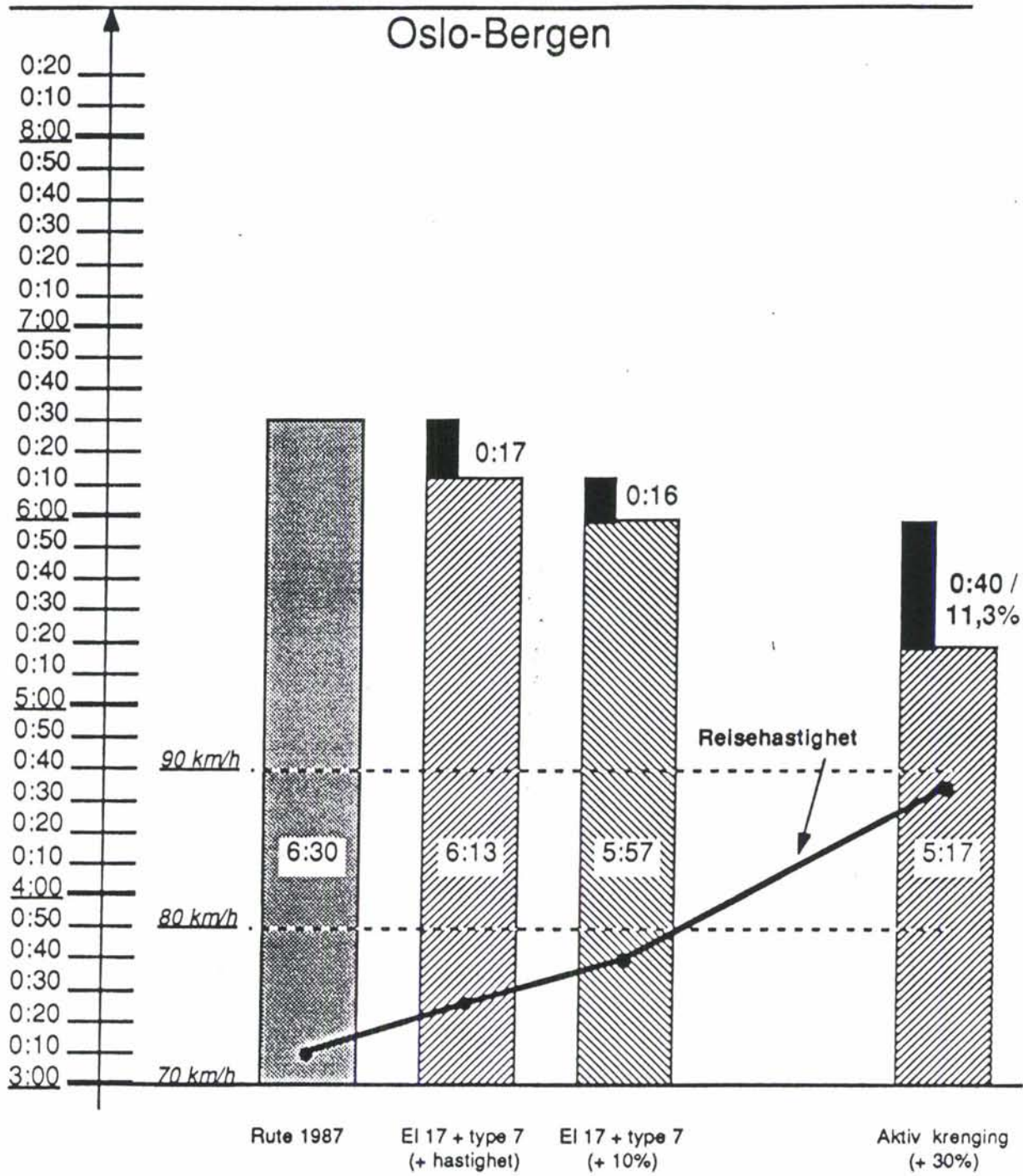
I tillegg er reisehastighetene plottet inn (strekurve).

Differansen mellom de ulike stolpene er vist med svarte stolper. For Aktiv krenning (+30%) er differansen også angitt i prosent.

I det følgende gis en utdypende forklaring til de ulike stolpene.

- Hastighetsklasse 1**.....Beregnet kjøretid ved hastighetsklasse 1.
- Rute 1987**.....Hurtigste tog på strekningen etter dagens ruter. Pga lange oppholdstider v/stasjoner og flere stopp enn i beregningene er Rute 1987 Sørlandsbanen korrigert. Det er benyttet samme oppholdstider (1-2 min) som på Dovrebanen. Korrigerte ruter er merket \*Rute 87\*. Dette muliggjør en direkte sammenligning med beregningene. Ikke korrigert rute er angitt med hvit stolpe.
- EI 17 + type 7 (+ hastighet)**.....Beregninger utført i T FoU nr. 6 "Optimalisering av linjens hastighetsprofil". Beregningene er utført med foreslått skilting av pluss-hastigheter (+10%) og gir derfor et realistisk utgangspunkt for beregning av rutetider.
- EI 17 + type 7 (+10%)**.....Beregninger utført med 10% hastighetsøkning på alle hastighetsavsnitt. Da det ikke er mulig å skilte alle hastighetsavsnitt med overhastigheter, vil denne beregningen gi omlag 1% kortere kjøretider enn det som faktisk er oppnåelig. Beregningen er tatt med for å kunne beregne netto tidsgevinst ved innføring av passiv og aktiv krenning.
- Passiv krenning (+20%)**.....Beregninger utført med 20% hastighetsøkning på alle hastighetsavsnitt. Da det ikke er mulig å skilte alle hastighetsavsnitt med overhastigheter, vil denne beregningen gi omlag 1-2% kortere kjøretider enn det som faktisk er oppnåelig. Beregningene gir en indikasjon på hva som maksimalt kan være oppnåelig ved innføring av passiv krenning.
- Aktiv krenning (+30%)**.....Beregninger utført med 30% hastighetsøkning på alle hastighetsavsnitt. Da det ikke er mulig å skilte alle hastighetsavsnitt med overhastigheter, vil denne beregningen gi omlag 1-2% kortere kjøretider enn det som faktisk er oppnåelig. Våre prøver så langt tyder på at overhastigheter på 30% komfortmessig ikke byr på problemer.

### Bergensbanen (over Roa)



Det er relativt stort avvik mellom kolonnene "El 17 + type 7 (+hastigheter)" og "El 17 + type 7 (+10%)". Dette skyldes i hovedsak at en god del hastighetsavsnitt ikke har fått skiltet pluss-hastigheter i T FoU nr. 6 "Optimalisering av linjens hastighetsprofil".

Tidsbesparelsen ligger et sted mellom 15 min og 30 min ved innføring av El 17 + type 7 og pluss-hastigheter.  
 Netto besparelse ved innføring av aktiv kregning er inntil 40 min, eller maksimalt 1:13 i forhold til dagens rute.

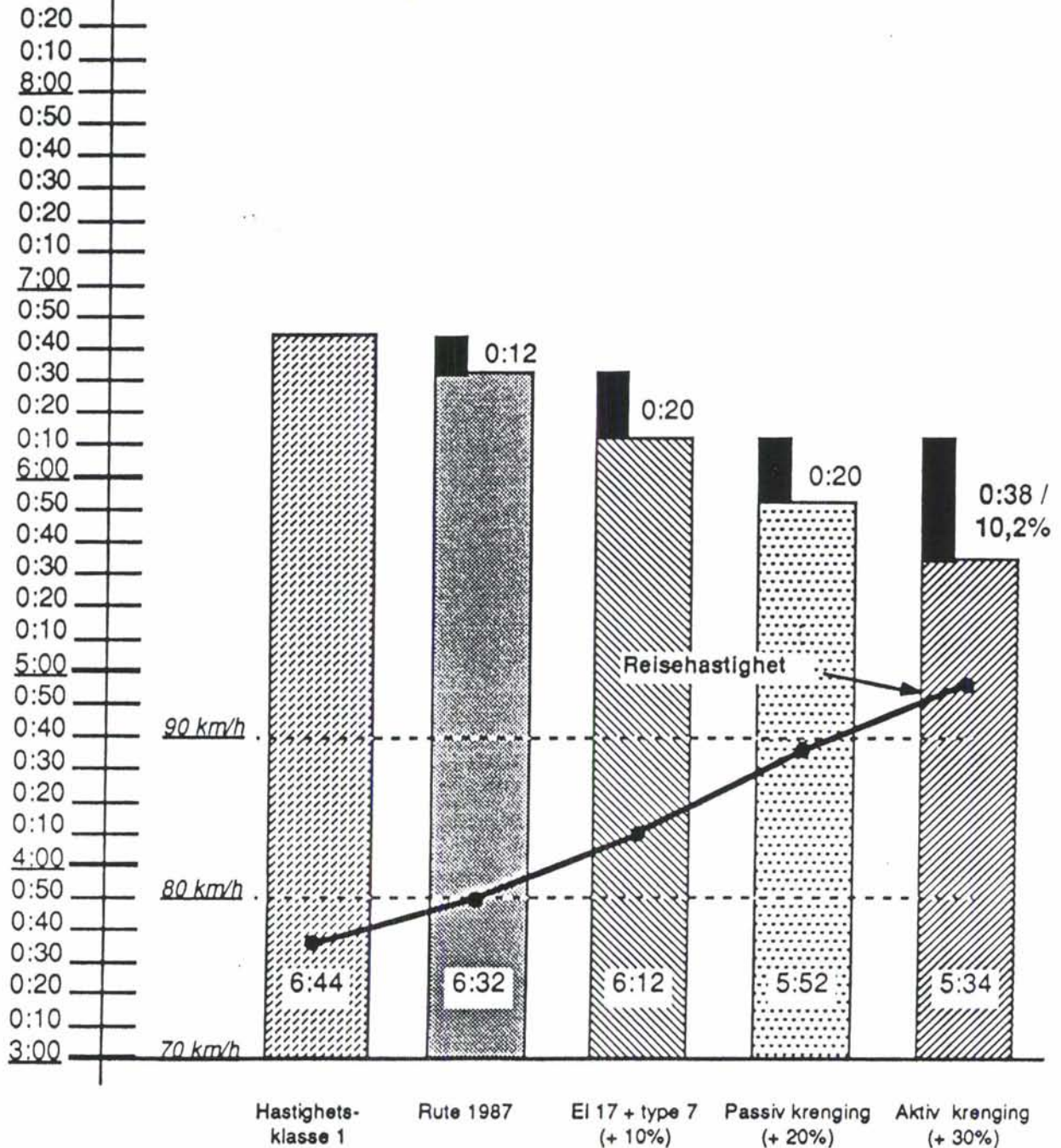
Etter åpningen av Trollkona tunnel, kan alle kjøretidene reduseres med ca 6-min.

*På kort sikt kan reisetiden reduseres med 45min til omlag 5:45 ved innføring av aktiv kregning.*



## Dovrebanen

## Oslo-Trondheim



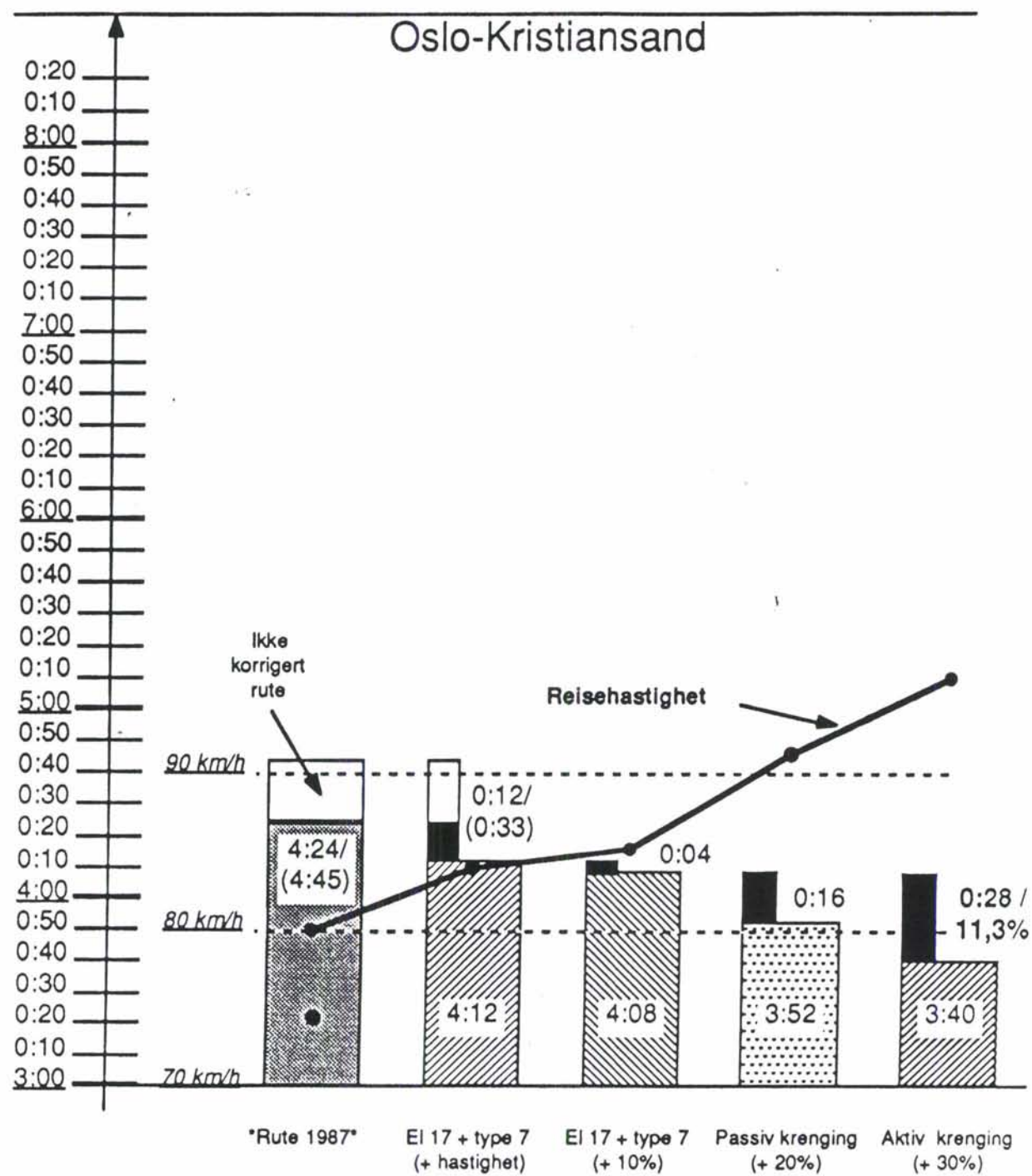
Det foreligger ingen FoU-rapport for Dovrebanen. Av den grunn mangler kolonnen "EI 17 + type 7 (+hastigheter)". I stedet er det kjørt en beregning for hastighetsklasse 1 (altså uten pluss-hastigheter). Vi ser at "Rute 1987" bare er 12 min kortere enn "Hastighetsklasse 1", mens "EI 17 + type 7 (+10%)" er 32 min kortere. Dette kan tyde på noe slakke ruter idet store deler av traséen er skiltet med overhastigheter. Dette understrekes også av at Et 43 i dag bruker 6:50, mens Et 41 i 1977 brukte 6:55 ved samme stoppmønster.

Aktiv kregning gir inntil 38 min netto besparelse i reisetid, eller innpå en time i forhold til dagens rute.

*På kort sikt kan reisetiden reduseres med 37 min til omlag 5:55 ved innføring av aktiv kregning.*

# Sørlandsbanen

## Oslo-Kristiansand



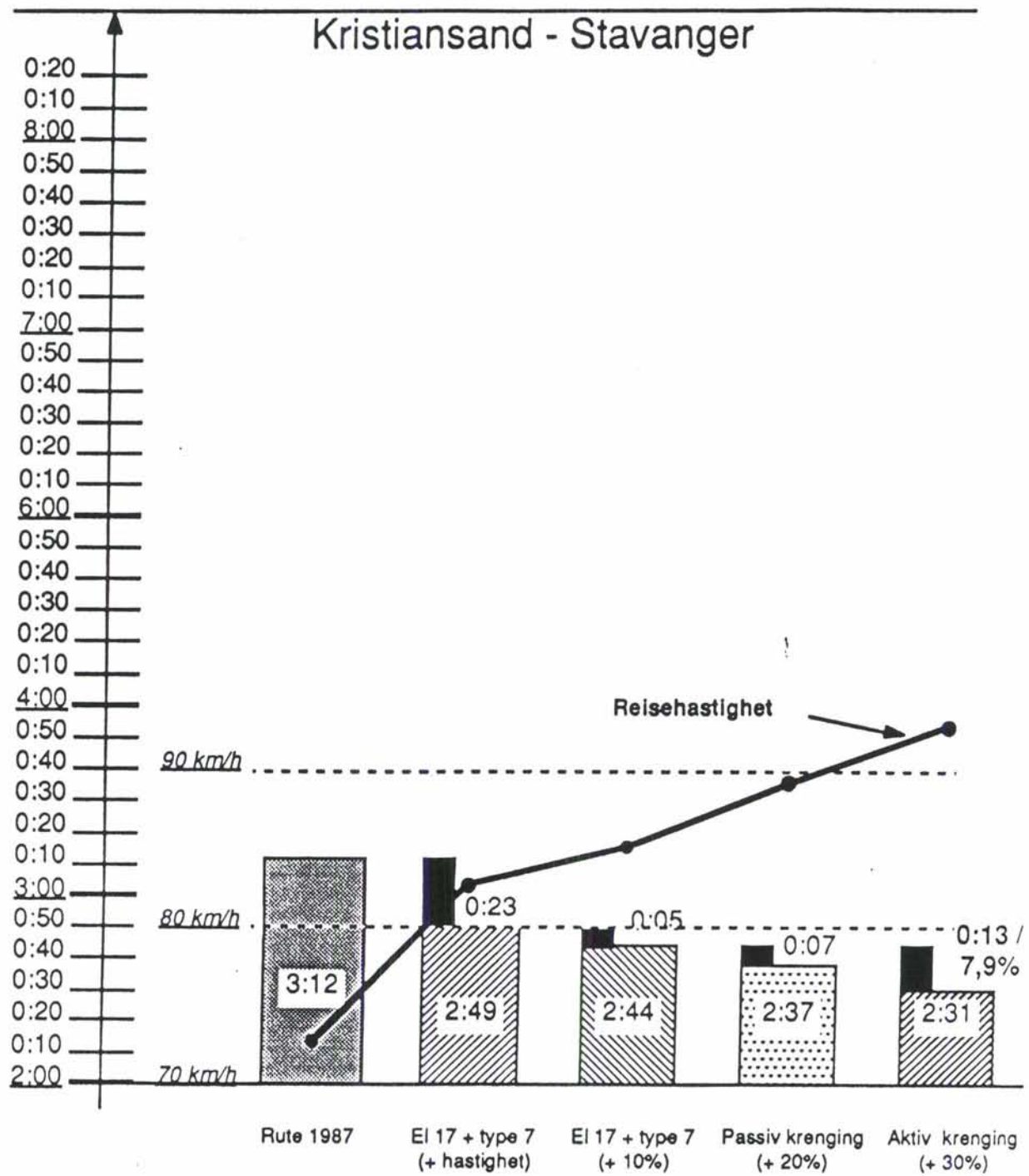
Det er godt samsvar mellom kolonnene "El 17 + type 7 (+hastigheter)" og "El 17 + type 7 (+10%)".

"Rute 1987" er korrigeret. Sammenlignet med andre ekspressstog, har Sørlandsbanen mange stopp og lange oppholdstider ved stasjoner. For å gjøre ruten sammenlignbar med beregningene og de andre banene er ruten kortet inn med 21 min. (15 min oppholdstid, 6 min pga færre stopp). Angående kjørehastigheter synes strekningen godt utnyttet. Pluss hastigheter kan gi 12-16 min kortere kjøretid. (En del av strekningen er allerede skiltet med pluss hastigheter.)

Aktiv krenning kan gi en netto besparelse på inntil 28 min, eller 44 min kortere kjøretid enn dagens korrigerete rute.

*På kort sikt kan reisetiden reduseres med 50 min til omlag 3:55 ved innføring av aktiv krenning.*

Kristiansand - Stavanger



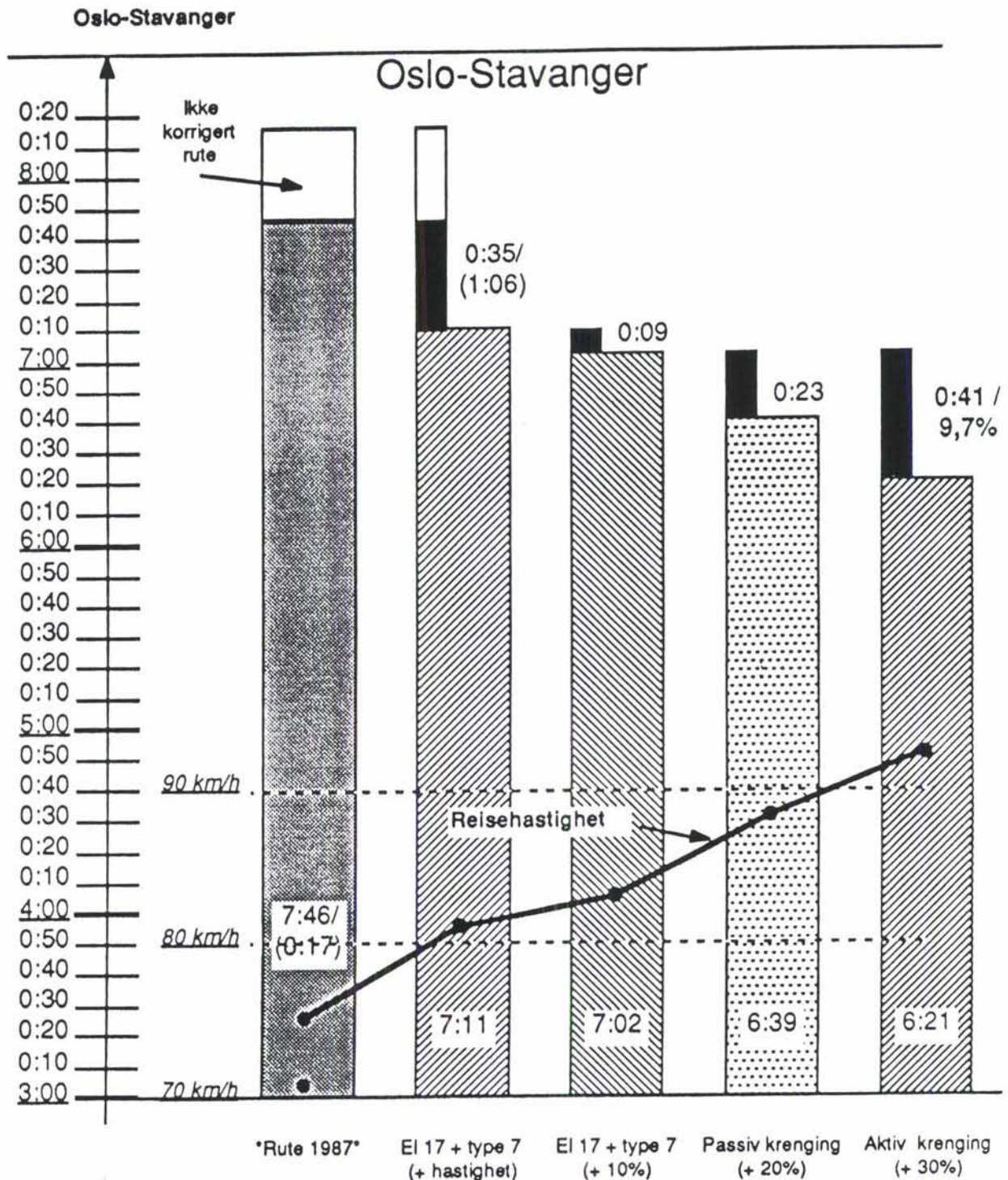
Det er godt samsvar mellom kolonnene "El 17 + type 7 (+hastigheter)" og "El 17 + type 7 (+10%)".

Strekningen har et stort uutnyttet potensiale; 23-28 min ved innføring av pluss-hastigheter.

Netto besparelse ved innføring av aktiv kringing er inntil 13 min, eller 41 min i forhold til dagens rute.

Strekningen har et svært tett stoppmønster. Dette forholdet samt en relativt stor andel rettstrekk, fører til at gevinsten ved innføring av aktiv kringing blir noe lavere enn ved de andre strekningene.

På kort sikt kan reisetiden reduseres med 32 min til omlag 2:40 ved innføring av aktiv kringing.



Det er godt samsvar mellom kolonnene "El 17 + type 7 (+hastigheter)" og "El 17 + type 7 (+10%)".  
Strekningen har et relativt stort utnyttet potensiale; 35-44 min ved innføring av pluss-hastigheter.

Netto besparelse ved innføring av aktiv kringing er inntil 41 min, eller 1:15 i forhold til dagens korrigerte rute.

Strekningen Kristiansand - Stavanger har et svært tett stoppmønster. Dette forholdet samt en relativt stor andel rettstrekk, fører til at gevinsten ved innføring av aktiv kringing blir noe lavere enn ved de andre strekningene.

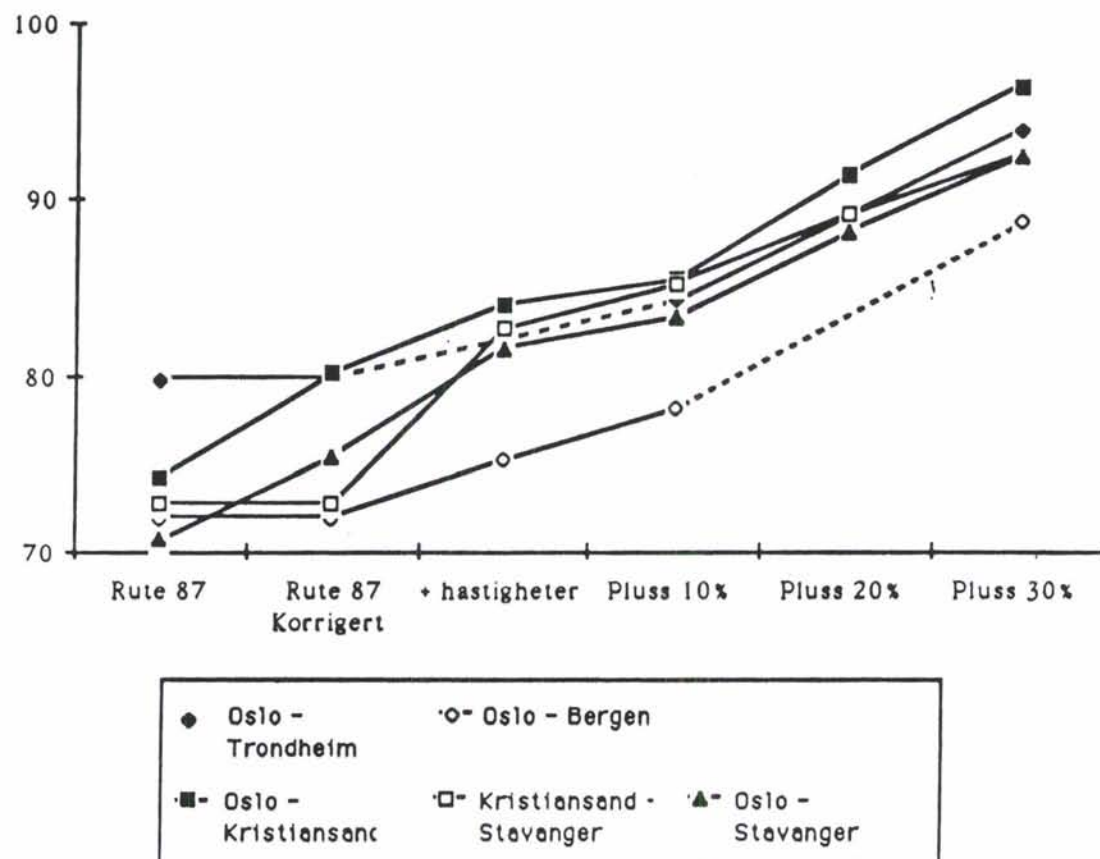
På kort sikt kan reisetiden reduseres med 92 min til omlag 6:45 ved innføring av aktiv kringing.

## Reisehastigheter

Reisehastighetene varierer idag fra 72 km/h (Sørlandsbanen) til 79,9 km/h (Dovrebanen). Ved reduksjon av stopptider og antall stopp på Sørlandsbanen, vil reisehastighet 80 km/h umiddelbart oppnås også på strekningen Oslo - Kristiansand.

På Bergensbanen kan reisehastigheter over 80 km/h ikke oppnås uten innføring av kreging.

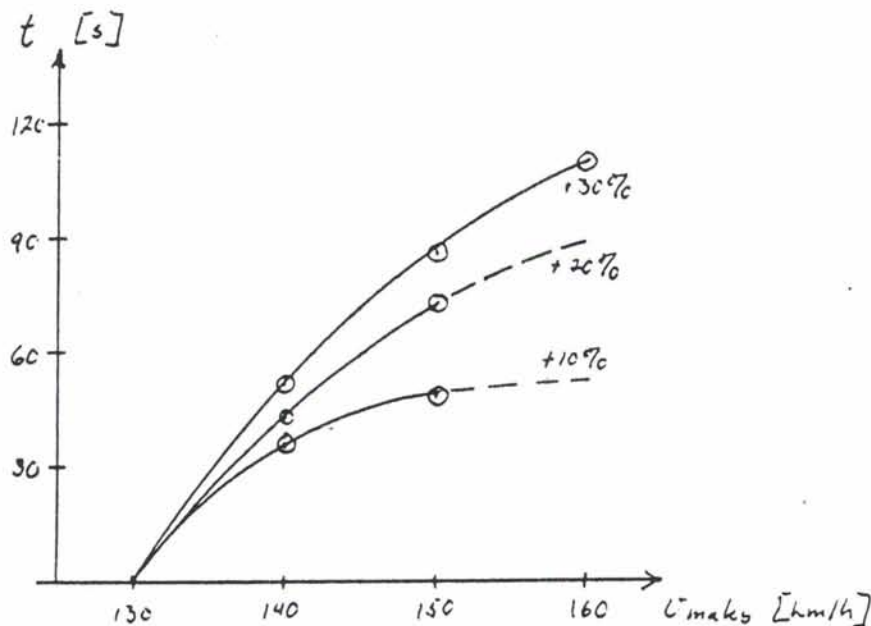
For de andre banene kreves aktiv kreging for å oppnå reisehastigheter høyere enn 90 km/h.



## Økt maksimalhastighet

Kjøretidsberegningene viser at økt maksimalhastighet på dagens traséer gir relativt beskjedne kjøretidsforkortelser med materiall tilsvarende E1 17 + type 7. På grunn av banenes kurve- og stigningsforhold kreves svært gode aksellerasjonsegenskaper for å utnytte en maksimalhastighet på f.eks 150 km/h.

Tidsbesparelsene øker for økte *overhastigheter* og for avtakende andel "trange" kurver. Et typisk bilde er gjengitt i figuren (Oslo - Kristiansand).



Tidsbesparelsene varierer derfor ganske mye for de ulike banene: En økning til 150 km/h gir 1 min 20 sek kortere kjøretid på Bergensbanen og 4 min på Dovrebanen ved aktiv krenning. Tilsvarende for ordinære overhastigheter (+10%) er hhv 30 sek og 7 sek!

Skal effekten av økt maksimalhastighet økes, må større deler av traséene rettes ut. Ved +10% kreves kurver med radius større enn ca 1300 m\* for å oppnå 150 km/h. Tilsvarende kreves kurveradier større enn ca 900m\* ved 30% overhastighet (aktiv krenning).

*Tidsbesparelsene ved innføring av aktiv krenning i forhold til ordinære overhastigheter (+10%) kan i stor grad bibeholdes ved en utstrakt kurveutretting til radier større enn 900m forutsatt at maksimalhastigheten økes.*

\* Ved overhøyder etter B16 standard

## Passiv krengeing

Med passiv krengeing forstås en rent mekanisk pendelløsning uten elektronisk styresystem og hydraulikkutstyr. Krengeingen skjer vha sentrifugalkrafta og tildels vha kurvens overhøyde. Det arbeides i dag med undergulvsløsninger (Wegmann og SIG) som gir tilnærmet like gode egenskaper som Talgos løsning ( RENFE har idag flere hundre pendelkrengeende Talgo-vogner).

Maksimal krengeing er rundt 2-3°. Da type 7 ruller ca 1° ("Krengeer feil vei"), blir netto krengevinkel 3-4°. i forhold til type 7. Teoretisk skulle dette muliggjøre overhastigheter inntil 20 % i kurver. Men pga av den store tregheten en finner i passive krengeesystemer,- med påfølgende rykk ved gjennomkjøring av kurver -, antas hastighetsøkningen å begrenses til rundt 17% .

Kolonnen + 20% er tatt med for å gi en *indikasjon* på hvor mye en kan hente ut ved innføring av passiv krengeing. + 20% er neppe oppnåelig, men dette er avhengig av flere faktorer, og prøvekjøring på norsk spor må utføres før en kan si noe sikkert.

Anskaffelses og vedlikeholdskostnader for passiv krengeing antas å være vesentlig lavere enn for aktiv krengeing. Innbygging i våre Type 7 vogner skulle være relativt enkel.

## Aktiv krengeing

Aktiv krengeing er basert på et sentralt kurvedeteksjonssystem i lok og et elektronisk reguleringsystem med hydraulisk aktivering av krengeingen i vogn.

Prototypesystemet har praktisk talt ingen forsinkelse, maksimal krengevinkel for prototypen er 6,5°. (FIATs ETR 450 har til sammenligning 10° krengevinkel). Dette muliggjør overhastigheter inntil 30% uten forringelse av komforten. Ved lavere overhastigheter blir komforten mhp rykk og sideaksellerasjon vesentlig bedre enn på dagens type 7 vogner.

Det foreligger ennå ikke resultater fra komfortmålinger, men prøvene så langt tyder på at komforten ved 30% overhastigheter ikke degraderes i forhold til type 7 ved normalhastigheter. Imidlertid vil en på hastighetsavsnitt skiltet med lavere overhastigheter utvilsomt oppnå en *bedring av komforten*. Dette er et forhold som også har betydning ved passiv krengeing. Ved gjennomkjøring av kurver i hastigheter høyere enn foreskrevet (+5 km/h er ikke uvanlig) vil komforten ved bruk av krengeing *ikke* degraderes i motsetning til hva som er tilfelle for ordinært materiell.

Resultater fra skinnekraftmålingene foretatt ved Sokna i høst, viser at E1 17 kjørt ved 30% overhastigheter ikke overskrider de skinnekraftene som oppstår ved kjøring av E1 14 ved normalhastighet. Dette gjelder en 500m kurve. Prøver i 300m kurve vil bli foretatt til våren. Se egen rapport.

## Lønnsomhetsberegninger



## Investeringskostnader

Kostnadene beregnes med utgangspunkt i dagens pris på type 7-materiell, dvs. ca. kr 7 500 000,- pr. vogn uten krengeutstyr (anslått pris inkl. mva. for 5 B7-vogner under bestilling). Ekstrakostnader ved installering av utstyr for aktiv kringing av vognkassen er av forskjellige leverandører anslått til 8 - 15 % av ordinær vognpris. Ved lønnsomhetsanalysen fra 1983 ble det imidlertid benyttet et kostnadsoverslag som lå langt høyere (nærmere 25 % av ordinær vognpris). Dette er antagelig en urealistisk høy pris for krengeutrustningen i en serieversjon. På grunn av den store spredningen i kostnadsoverslagene for krengeutrustning blir det her foretatt lønnsomhetsberegninger for 10 %, 15 %, 20 % og 25 % påslag i vognprisen.

## Materiellkostnader

Beregningene fra 1983 er kun utført for de ordinære ekspresstogene på Dovrebanen (41/44 og 42/43) og Sørlandsbanen (71/74 og 72/73). Inkludert reserven antas materiellbehovet å være 54 vogner uten turnering 71/74 på dagtid, og 46 vogner med turnering (5 togsett kontra 4 togsett, pluss 14 vogner i reserve).

Dersom kringende tog skal kunne gjennomføres innenfor en rimelig tidsramme, må det forutsettes at dagens El 17-lokomotiver blir benyttet. Til kjøring av ekspresstogene på Dovrebanen og Sørlandsbanen er behovet i utgangspunktet 6 hhv. 5 lok. Det finnes imidlertid i dag 12 stk. El 17, og bl.a. av driftsmessige hensyn forutsettes det her at samtlige El 17-lok blir utstyrt med krengeutrustning. Den anslåtte kostnad ved innbygging av krengeutrustning på eksisterende El 17-lok ble i 1983 satt til kr 800 000,- pr. lok. Dette er svært høyt, og det er derfor her gjort beregninger for kostnader på både kr 800 000,- og kr 500 000,- (i 1987-kroner).

Med en ordinær vognpris på kr 7 500 000,- (inkl. mva.) blir **de ekstra investeringskostnadene til krengeutrustning:**

Kostnads- påslag	Uten turnering		Med turnering	
	ant. vogner	beløp (kr)	ant. vogner	beløp (kr)
10 %	54	40 500 000	46	34 500 000
15 %	54	60 750 000	46	51 750 000
20 %	54	81 000 000	46	69 000 000
25 %	54	101 250 000	46	86 250 000

For lokomotivene blir kostnadene:

Kr 500 000,- pr. lok: totalt kr 6 000 000,-

Kr 800 000,- pr. lok: totalt kr 9 600 000,-

Ved turnering av 71/74 på Sørlandsbanen spares ett helt togsett. Tidsavhengig årlig materiellkostnad for et togsett ble i 1983 kalkulert til kr 4 700 000,-. Dette tilsvarer ca. kr 6 580 000,- i 1987-kroner (omregningsfaktor på 1,4 benyttes).

## Vedlikeholdskostnader

Selve krengeutrustningen vil kreve et visst vedlikehold. Dette er tidligere svært grovt anslått til 1/10 årsverk pr. vogn og lok, pluss materialutgifter på kr 3 500,- (2 500,- 1983-kroner) pr. vogn og lok pr. år.

Årlige vedlikeholdsutgifter vil etter dette utgjøre:

	Uten turn. 71/74	Med turn. 71/74
Personalkostnader	1 180 000,-	1 000 000,-
<u>Materialkostnader</u>	<u>230 000,-</u>	<u>200 000,-</u>
<u>Vedlikeholdskostnader</u>	<u>1 410 000,-</u>	<u>1 200 000,-</u>

En dobling av personalkostnadene (til 2/10 årsverk) gir:

Vedlikeholdskostnader: 2 590 000,- hhv. 2 200 000,-

## Personalkostnader i driften

Redusert kjøretid innebærer reduksjon i lønnskostnadene til togpersonalet. Ved lønnsomhetsoverslaget fra 1983 beregnet Kalk lønnsbesparelsene for Dovre- og Sørlandsbanen. Tallene fra 1983 oppgraderes i henhold til kjøretidsforkortelsene etter de nye kjøretidsberegningene, og en faktor på 1,4 benyttes for omregning til 1987-kroner.

	Kjøretidsreduksjon	
- Dovrebanen	15 min.	35 min.
Reduksjon i lønnskostnad	170 000,-	390 000,-
- Sørlandsbanen	20 min.	40 min.
<u>Reduksjon i lønnskostnad</u>	<u>180 000,-</u>	<u>360 000,-</u>
<u>Totalt</u>	<u>350 000,-</u>	<u>750 000,-</u>

NB!

Kjøretidsreduksjoner på hhv. 15 min. og 20 min. er tatt med fordi dette er rimelige overslag for mulige innsparinger ved passiv krengeing.

## Nødvendige årlige merinntekter ved innføring av kregning

Det beregnes hvor store merinntektene må være for å oppnå en nåverdi av investeringene lik null (etter en internrente på 7 %). Det forutsettes at kreggeutstyret har en levetid på 10 år, og en restverdi på 50 %.

		<u>Merinntekter</u>			
Ekstra kostn kreggeutstyr		Kr 500 000,- pr. lok		Kr 800 000,- pr. lok.	
		Ekskl. forsøk	Inkl. forsøk	Ekskl. forsøk	Inkl. forsøk
+ 10 % pr. vogn	u/ turn.	5,9	8,5	6,3	8,9
	m/ turn.	-1,5	1,2	-1,1	1,5
+ 15 %	u/ turn.	7,9	10,5	8,2	10,8
	m/ turn.	0,2	2,8	0,6	3,2
+ 20 %	u/ turn.	9,8	12,5	10,2	12,8
	m/ turn.	1,9	4,5	2,2	4,8
+ 25 %	u/ turn.	11,8	14,4	12,1	14,8
	m/ turn.	3,6	6,2	3,9	6,5

Alle beløp i mill. kr

Det er her forutsatt at investeringene til kreggeutstyr forfaller til betaling ved årskiftet samme år som kreggevognene settes i drift.

Ved en økning av vedlikeholdskostnadene til 2/10 årsverk, må summene i tabellen over påplusses ca. kr 1,2 millioner.

De totale utviklingskostnadene ved "Forsøk med kregning" vil beløpe seg på ca. 14 millioner 1987-kroner (i all hovedsak eksklusive personalkostnader). For enkelhets skyld antar vi at hele beløpet forfalt til betaling ved årskiftet 1986/87. Vi kan forutsette at eventuelle kreggevogner betales ved årskiftet 1991/92, og vognene settes i drift i 1992. Inntjening også av utviklingskostnadene betyr som det fremgår av tabellen at nødvendig inntektsøkning pr. år blir ca. kr 2,6 millioner større.

### Inntektsoverslag

Inntektsberegningene fra 1983 ble gjort på grunnlag av de reelle inntektene fra ekspressstogene på Dovrebanen (65 millioner) og Sørlandsbanen (39 millioner) for 1982. Økningen i inntekter fra 1983 til 1987 er her satt lik den gjennomsnittlige inntektsøkningen på de aktuelle banestrekningene, hhv. 20 % på Dovrebanen og 10 % på Sørlandsbanen.

De forventede kjøretidsreduksjoner med 30 % overhastighet i kurver hentes fra kjøretidsberegningene foran. Den prosentvise reduksjon fremkommer ved sammenligning av beregningene for + 30 % med + 10 %, som anses som maksimal kurvehastighet uten kregning.

Ved å benytte ulike reisetidsfølsomheter direkte på inntektstallene for togene, og med de relative kjøretidsreduksjonene ovenfor, får vi følgende grove anslag for **inntektsøkningen** (mill. kr pr. år):

## Inntektsøkning

	Reisetidsfølsomhet							
	0,5 %		0,7 %		1,0 %		1,5 %	
	A	P	A	P	A	P	A	P
Dovrebanen	4,0	1,7	5,6	2,4	8,0	3,4	12,0	5,1
Sørlandsbanen	2,1	1,0	2,9	1,5	4,2	2,1	6,3	3,1
<b>Totalt</b>	<b>6,1</b>	<b>2,7</b>	<b>8,5</b>	<b>3,9</b>	<b>12,2</b>	<b>5,5</b>	<b>18,3</b>	<b>8,2</b>

Inntektsøkning med kregning (mill. kr pr. år), ekskl. personalbesparelser i driften og ekskl. innspart årlig materiellkostnad for et togsett ved turnering 71/74. (Alle beløp i mill. kr.)

A = Aktiv kregning P = Passiv kregning)

### Aktiv kregning

Den prosentvise reisetidsreduksjonen som her er benyttet er 10,2 % for Dovrebanen og 9,7 % for Sørlandsbanen.

Ved sammenligning med tabellen over nødvendige årlige merinntekter ser vi at ved en reisetidsfølsomhet på 1,0 % vil innføring av kregning være lønnsomt (forutsatt at turnering 71/74 oppnås), selv for en beregnet merkostnad for kregneutrustningen på 25 %. Det vil også være lønnsomt (ligger på grensen) dersom vedlikeholdskostnadene øker til 2/10 årsverk pr. lok og vogn. Utviklingskostnadene til "Forsøk med kregning" vil imidlertid ikke bli tjent inn ved en slik kostnad for kregneutrustningen.

En reisetidsfølsomhet på 1,0 % ble ved beregningene i 1983 ansett som det mest realistiske. Reisetidsfølsomheten er imidlertid en svært usikker faktor, og den er dessuten langt fra lineær.

### Passiv kregning

Ved innføring av passiv kregning mener leverandørene at dette skal kunne gjennomføres uten ekstrakostnader ved produksjon av vognene. På grunnlag av de beregnede merinntektene kan vi imidlertid finne hvilken ekstrakostnad som kan forsvares, event. hvilke ekstra vedlikeholdsutgifter som kan tåles.

Ved en reisetidsfølsomhet på 0,7 % (årlige merinntekter kr 3,9 millioner og personalbesparelser på kr 350 000,- pr. år), vil dette tilsvare en investering (uten turnering) på:

kr 44 millioner

eller kr 815 000,- pr. vogn

hvilket tilsvarer ca. 11% tillegg på vognprisen (ved en internrente på 7 % p.a.).

Om en innarbeider den samme økningen i vedlikeholdskostnadene som ved aktiv kregning (kr 1410000,- pr år), vil "mulig" investeringsbeløp være 29 mill kr, eller tilsvarende ca 7% påslag på vognprisen.

Det er her som tidligere forutsatt 10 års levetid og 50% restverdi på kregneutstyret.

Utgiftene til prosjektet "Forsøk med kregning" er ikke medregnet. Dersom dette gjøres vil "mulig" investeringsbeløp reduseres til ca 17 mill kr, (315000,- kr tilsvarende 4% påslag på vognprisen). Det er her sett bort fra økte vedlikeholdskostnader.

## Nåverdier / Internrenter

De foreløpige prøvekjøringer med NSB's krengevogn viser at kurvehastigheter på +30 % i forhold til dagens hastighetsklasse I burde være fullt realistisk gjennomførbart ved innføring av aktiv hydraulisk krenning av vognkassen. Lønnsomhetsberegninger er derfor foretatt for en slik hastighetsøkning. I tillegg er det foretatt beregninger for kurvehastigheter 15 - 20 % over klasse I, noe som svarer til den forventede mulige hastighetsøkning med passiv krenning.

Ved turnering av ekspressstogene 71/74 på Sørlandsbanen vil investering i krengeutrustning være lønnsom med god margin selv for ekstra kostnader pr. vogn på 25 %, og en reisetidsfølsomhet på 0,7 %.

Forventet nåverdi av prosjektet for forskjellige kostnadsoverslag og reisetidsfølsomheter er:

Prisøkning		<u>Forventet nåverdi</u>							
		Reisetidsfølsomhet							
		0,5%		0,7%		1,0%		1,5%	
		A	P	A	P	A	P	A	P
10 %	u/turn	-12,6	3,3	5,4	12,3	33,2	24,3	79,0	37,7
	m/turn	38,4	52,7	60,8	61,8	88,6	73,8	134,4	93,1
15 %	u/turn	-27,3	3,3	-9,3	12,3	18,5	24,3	64,3	37,7
	m/turn	30,2	52,7	48,3	61,8	76,1	73,8	121,9	93,1
20 %	u/turn	-42,1	3,3	-24,1	12,3	3,7	24,3	49,5	37,7
	m/turn	17,7	52,7	35,7	61,8	63,5	73,8	109,3	93,1
25 %	u/turn	-56,8	3,3	-38,8	12,3	-11,0	24,3	34,8	37,7
	m/turn	5,1	52,7	23,2	61,8	51,0	73,8	96,8	93,1

Alle beløp i mill kr.

NBI

For passiv krenning er det her regnet med null ekstra investeringskostnader.

Utgangspunktet for denne tabellen er en vognpris (uten krenning) på 7,5 millioner (inkl. mva.), kr 500 000, i ekstra omkostninger pr. lok, og en vedlikeholdskostnad på 1/10 årsværk pr. vogn og lok. I den beregnede nåverdi er også investeringskostnadene til "Forsøk med krenning" tatt med (betyr 19,6 mill. i nåverdi).

Tabellene nedenfor viser de beregnede **Internrenter** for investeringer i kregende tog under forskjellige forutsetninger:

Kostnads- påslag		0,7 %		1,0 %	
		Inkl. invest krengeforsøk	Ekskl. invest krengeforsøk	Inkl. invest krengeforsøk	Ekskl. invest. krengeforsøk
10 %	u/turn	r = 8,8 %	18,2 %	19,2 %	32,1 %
	m/turn	31,1 %	56,3 %	43,4 %	82,6 %
15 %	u/turn	6,1 %	10,1 %	11,7 %	18,9 %
	m/turn	21,6 %	33,0 %	29,4 %	46,1 %
20 %	u/turn	3,5 %	6,0 %	7,8 %	12,5 %
	m/turn	15,9 %	22,6 %	21,8 %	31,3 %
25 %	u/turn	1,8 %	3,4 %	6,1 %	8,6 %
	m/turn	12,2 %	16,6 %	17,4 %	23,2 %
25 % dobbelt vedlikehold	m/turn			12,6 %	16,5 %

Internrente for investering i passiv krenning.

Kostnads- påslag		0,7 %		1,0 %	
		Inkl. invest krengeforsøk	Ekskl. invest krengeforsøk	Inkl. invest krengeforsøk	Ekskl. invest. krengeforsøk
0 %	u/turn	r = 23,5 %		36,5 %	
5 %	u/turn	5,5 %	25,0 %	12,6 %	40,0 %

Vi ser at internrenten er svært avhengig både av de anslåtte ekstrakostnader pr. vogn, og av reisetidselastisiteten. En må understreke at begge disse faktorene er beheftet med en relativt stor usikkerhet.