

# Titel: Hvad er en banes kapacitet?

Forfatter: Chefkonsulent Benny Mølgaard Nielsen, Trafikstyrelsen

## Resumé

Banernes kapacitet er meget forskellig og påvirkes på en række forskellige måder, både opad og nedad.

Antal tog i timen pr. retning	Eksempler, enkeltspor	Karakteristika
6	Nærumbanen	Kort strækning, få ens tog, dedikeret net
5		
4		
3	Odense-Ringe	Ens tog, optimerede krydsningsstationer, antal standsninger tilpasset køretiden
2	Vamdrup-Vojens	Blandet trafik, ydedygtige signalanlæg, forlænget køretid
1	Ribe-Tønder	Langt mellem krydsningsstationer

Antal tog i timen pr. retning	Eksempler, dobbelspor	Karakteristika
30	S-banen København	Ens tog, ens standsningsmønster, lav hastighed, korte blokafsnit, ydedygtigt togkontrolanlæg
28	H – Østerport	
26		
24		
22		
20		
18		
16	Kystbanen	Optimeret net, ensartede tog, lav hastighed
14	København H - Østerport	
12		Meget ydedygtige signalanlæg
10	Roskilde - Ringsted	
8		Typiske med blandet trafik og uden særlige signaltiltag
6	Fredericia – Vejle og Skanderborg – Århus	
4	Odense - Middelfart	Meget kapacitetskrævende regionaltogssystem
2	Randers - Aalborg	Begrænset signalteknik, manuelt trafikkoncept

## Forhold, der påvirker baners kapacitet

Baners kapacitet tager udgangspunkt i følgende to grundlæggende forhold:

1. Alle tog kører i rumafstand, og der skal foran ethvert tog være tilstrækkelig bremseafstand før et forankørende tog.
2. De rum, der er til rådighed – oftest betegnet blokafsnit – er af vidt forskellig længde, fra ca. 200 m på S-banen til ca. 25 km på regional- og lokalbaner.

En typisk længde af et blokafsnit på en hovedbane er 2 km. Det betyder, at tog med forskellig hastighed og dermed forskellig bremseafstand kræver et forskelligt antal frie afsnit foran sig, for at kunne køre med maksimal hastighed:

Tog med maksimalhastighed	Afsnit 1	Afsnit 2	Afsnit 3
80 km/t	Bremseafstand		
120 km/t	Bremseafstand		
180 km/t	Bremseafstand		

Den væsentligste faktor for en banes kapacitet er, om banen er enkeltsporet med tog i begge retninger eller dobbeltsporet med tog i én retning pr. spor. Udbygning af en bane fra enkeltspor til dobbeltspor vil typisk øge kapaciteten med en faktor 4-6.

Yderligere kapacitet kan opnås med tre spor eller fire spor/to dobbeltspor.

Imidlertid findes der herudover en række virkemidler, som kan øge en banes kapacitet.

En *enkeltsporet* banes kapacitet kan øges med mange krydsningsspor, samtidig indkørsel, automatisk trafikkoncept, køretid tilpasset krydsningsstationernes afstand (forlænget køretid, færre stop) eller flere blokafsnit.

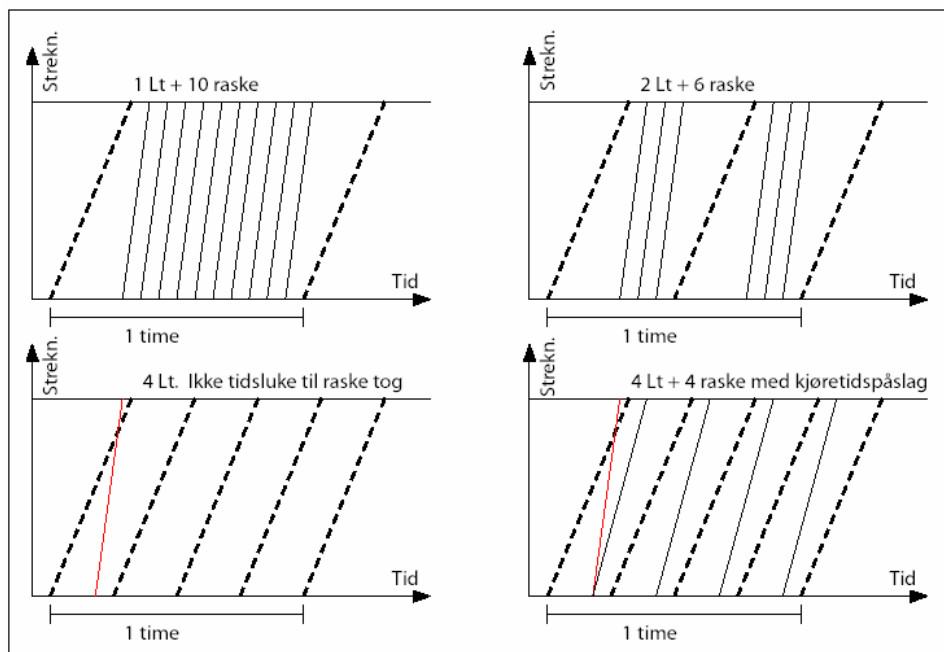
En *dobbeltsporet* banes kapacitet kan øges ved flere blokafsnit, supplerende linieledere til ATC, flere overhalingsstationer, flere perronspor på stationer med stor passagerudveksling, højere hastighed til og fra vigespor samt gennem transversaler mellem hovedspor, niveaufri forgreninger, forgrening med høj hastighed, køreplan med ”bundtning” af tog med ensartet hastighed eller ensartet hastighed for alle tog.

En generel mulighed for at øge en banes kapacitet er at acceptere en lavere regularitet.

En schweizisk model indikerer de modstridende forhold for at opnå højst mulig kapacitet. Hvis en banes kapacitet er (ved at være) udnyttet, kan ét af forholdene kun fremmes, hvis man er villig til at acceptere forringelser på ét eller flere af de øvrige:

	Flest mulige tog	
Højere hastighed		Højere regularitet
	Forskelligartede tog	

Konsekvensen er illustreret i en kapacitetsvurdering fra Jernbaneverket i Norge:



I eksemplet øverst til venstre "bundtes" de hurtige tog, så der bliver kapacitet til 10, og der kører ét langsomt lokaltog (Lt). I eksemplet øverst til højre kører der et lokaltog hver halve time, og det nedsætter kapaciteten til 6 hurtige tog. Eksemplet nederst til venstre viser, at med lokaltog hvert kvarter er der ikke kapacitet til hurtige tog, medmindre de (nederst til højre) får forlænget køretiden.

Indførelse af *ny teknik* er ikke i sig selv ensbetydende med øget kapacitet, snarere tværtimod. Erfaringerne har således vist, at signalteknik fra perioden 1950-1970 på mange måder er mere ydedygtig og driftsstabil end nyere teknologi.

En mindre konkret faktor i vurdering af en banes kapacitet er *den menneskelige faktor* og den kultur, som er knyttet hertil. For passagererne handler det typisk om adfærd ved ind- og udstigning. For medarbejdere handler det om reaktionstider, køremønstre mv. Jernbanesikkerhedsmyndigheden har introduceret det ubestemte begreb "en banes mætningsgrad". Heri ligger primært, at mennesket ikke "kan følge med" trafikken evt. i kombination med kutymer, som betyder, at mennesket agerer anderledes end forudsat.

### **Teoretisk kapacitet**

Danske teorier findes kun i begrænset omfang og med begrænset aktualitet.

Eneste almindeligt tilgængelige teori er P. H. Bendtsen: *Jernbanestationer*, 1963:

*Enkeltspor* har under gunstige omstændigheder en kapacitet på 60 tog pr. døgn i begge retninger. Det svarer med sædvanlige døgnudsving til 3,5 – 4,5 i timen i begge retninger.

*Dobbeltspor* har en teoretisk kapacitet pr. spor på 5-6 tog i timen pr. retning med blandet trafik og moderne signalanlæg.

For *S-baner* angives en teoretisk kapacitet på op til 40 tog i timen pr. retning. Ved at kompensere for en metodefejl mht. sikkerhedsafstand samt for specifik tog længde fås en teoretisk kapacitet på 36 tog.

Kapacitet kan ikke udnyttes hele døgnet, dels fordi efterspørgslen svinger og dels på grund af større eller mindre grad af blandet trafik. Derfor defineres en strækningens *virkningsgrad*, som er skønnet til 0,5 for strækninger med blandet trafik og 0,6 for strækninger med mange forstadstog.

*Niveaufri udfletning* bør etableres, hvis produktet af tog i 24 timer for de to togveje der skærer hinanden, er over 2.000. Det betyder f.eks., at kører der 90 tog pr. spor ad hovedlinien, og forgrener halvdelen til hver linie, bliver produktet  $45 * 45 = 2.045$ . Til sammenligning er produktet for Ringsted:  $79$  (Slagelse-Roskilde) \*  $38$  (Roskilde-Næstved) =  $3.002$ .

## **Praktisk kapacitet**

### ***Enkeltspor***

Den væsentligste faktor er afstanden (i køretid) mellem krydsningsstationerne. Hvis krydsningsstationerne ligger tæt og strækningen og køreplanen i øvrigt er optimeret, kan der opnås en kapacitet på op til 6 tog i timen pr. retning.

*Nærumbanen* trafikeres i myldretiderne med 6 lokaltog i timen pr. retning. Der er tale om en kort strækning, og de 12 tog i begge retninger fremføres af 3 togsæt, der pendler på strækningen. Der er altså tale om ganske enkle forhold, hvor banens to krydsningsstationer samtidig er nøje dedikeret til 10-minutters drift.

*U-banen i Hamburg* har delstrækninger (yderstrækninger), der i dagtimerne trafikeres med 6 tog i timen pr. retning.

*Odense-Ringe* trafikeres i dagtimerne af 3 regionaltog i timen pr. retning; 2 tog kører til/fra Svendborg. Kapaciteten er skaffet dels ved at optimere krydsningsstationernes signalsystemer, dels ved at tilpasse antallet af standsninger til de køretider, der er til rådighed mellem krydsningsstationerne.

*Vamdrup-Vojens* er et typisk eksempel på en bane med blandet trafik. Strækningen trafikeres pr. døgn af ca. 40 passagertog og ca. 40 godstog. Dette ligger noget over det teoretiske maksimum, og kapaciteten opnås i kraft af ydedygtige signalanlæg, forlænget køretid for både passager- og godstog samt accept af, at der ikke er togfrie intervaller til vedligeholdelse, bortset fra i weekenderne. Strækningens kapacitet opfattes som opbrugt.

*Ribe-Tønder* har kapacitet til ca. ét tog i timen pr. retning, fordi den største afstand mellem to krydsningsstationer er 21 km, svarende til en køretid for et regionaltog på ca. 20 min. Hertil kommer et manuelt trafikkoncept, som kræver tid til at udveksle sikkerhedsmeldinger.

### ***Dobbeltspor***

På baner med et spor i hver retning er det især blandingen af togtyper, der afgøre kapaciteten. Hvis banen trafikeres af ensartede tog med ensartet standsningsmønster og ensartet (lav) hastighed, kan der opnås en kapacitet på 30-36 tog i timen pr. retning. Hvis banen trafikeres af forskelligartede tog med forskellig hastighed og standsningsmønster, er kapaciteten 6-14 tog. På baner med manuelt trafikkoncept afhænger kapaciteten af afstanden (i tid) mellem de bemandede stationer, og kan da komme ned på 2-4 tog i timen pr. retning.

Kapaciteten på banens stationer betyder også meget for en banes samlede kapacitet. En forgrening med lav hastighed og en forgrening i niveau vil således reducere den samlede kapacitet. Ved etablering af 2. spor Ballerup–Frederikssund blev banen indrettet til en kapacitet på 24–30 tog i timen pr. retning. Flaskehalsen er imidlertid endestationen Frederikssund, der kan håndtere 6-12 tog, afhængig af køreplanen.

*S-banen København H-Østerport* trafikeres af indtil 30 tog pr. retning i enkelte myldretimer. Det ligger noget under det teoretiske maksimum for den type trafikering, men opfattes samtidig som det maksimalt opnåelige i dagens situation. Ekstra kapacitet kan evt. opnås, hvis der anvendes tog med større acceleration, ligesom en yderligere optimering af signalsystemet kan bidrage. Imidlertid påvirkes kapaciteten også af andet end strækningens direkte kapacitet. Eksempelvis gør hyppige lokomotivførerskift på København H strækningen ekstra sårbar for forsinkelser.

*Kystbanen København H-Østerport* er opgraderet til en kapacitet på 13-16 tog i timen pr. retning. Heri indgår, at banen trafikeres af en del tomme tog, som ikke behøver så megen kapacitet som passagertog. Kapaciteten begrænses i nogen grad af, at perronlængden på Nørreport ikke tillader alle tog at holde helt ved perron.

*Roskilde-Ringsted* er formentlig den strækning med blandet trafik, der ligger tættest på den teoretiske kapacitet på 10-12 tog pr. time. Strækningen er forsynet med meget ydedygtige signalanlæg, men kapaciteten begrænses af niveau-krydsningen i Ringsted mellem tog fra Slagelse og tog til Næstved.

*Fredericia-Vejle og Skanderborg-Århus* er typiske strækninger uden særlige signaltekniske tiltag og har en kapacitet på 6-8 tog med blandet trafik.

*Odense-Middelfart* har en kapacitet på 5-7 tog. Det er en lav kapacitet for en dobbeltsporet bane med moderne signalteknik. Det skyldes frem for alt, at banen trafikeres med regionaltog, der optager samme kapacitet som 4-6 InterCitytog. Hvis man forestiller sig, at regionaltogene ikke skulle standse ved de fire mindste stationer, som har mellem 15 og 35 passagerer om dagen, ville det øge kapaciteten med 2 tog (InterCity- eller godstog).

*Hobro-Aalborg* har kun meget begrænset signalteknik og anvender manuelt trafikkoncept. Kapaciteten er omkring 3 tog, hvis alle stationer er bemandede.

Sammenfatning af kapacitet	Antal tog i timen pr. retning	
	Enkeltspor	Dobbeltspor
Teoretisk kapacitet	1 - 3	3 - 36
Praktisk kapacitet		
- manuelt trafikkoncept og langt mellem stationer	1 - 2	3 - 4
- optimeret banenet	2 - 3	12 - 15
- optimeret banenet - ensartede tog - systemkøreplan	4 - 6	24 - 30

## Definition af kapacitet

En banes kapacitet udtrykker det antal tog i én retning, der i praksis kan gennemføres på en bane. Kapaciteten tager udgangspunkt i de togtyper, der efterspørges og som derfor findes i køreplanen.

Note: Formålet med at vælge de togtyper, der faktisk trafikerer en bane, er at gøre kapacitetsberegningen så realistisk som muligt. Når der indsættes nye togtyper på en bane, kan det være aktuelt at genberegne kapaciteten.

## Opstilling af banernes kapacitet

### Generelt

Ved opstilling af banernes kapacitet, er det vigtigt for acceptabiliteten at anvende forudsætninger, som er gennemskuelige.

En banes kapacitet skal også afspejle kapaciteten på de tilstødende stationer. To baner, som har ensartet udrustning, kan udmærket have meget forskellig kapacitet på grund af de tilstødende stationers kapacitet.

Banernes kapacitet opstilles på basis af

- kendt teori
- praktisk erfaring
- synliggjorte modifikationer.

Det betyder, at der ikke kan føres bevis for den anførte kapacitet, men kapacitetens forudsætninger kan gøres til genstand for diskussion.

Som udgangspunkt anvendes følgende kapacitet:

Banetype	Antal tog i timen pr retning
Enkeltspor	1½ - 2½
Dobbeltspor	7 - 10
Dobbeltsporet S-bane	9 - 12

### Køreplanen

En banes kapacitet afhænger af, hvordan den konkrete køreplan tilrettelægges. Kapaciteten vil i nogle tilfælde kunne øges ved optimering af køreplanen, ligesom effekten af en flaskehals kan mindskes gennem køreplanlægningen.

Note: På en station, hvor to baner forgrener i niveau, reducerer det kapaciteten, fordi kun ét tog kan passere krydsningspunktet ad gangen. Hvis køreplanen kan tilrettelægges, så de afgrenende tog i begge retninger passerer krydsningspunktet samtidig, reduceres kapaciteten ikke.

### Enkeltspor

Banens kapacitet fastsættes på basis af de sædvanlige togtyper, der trafikerer banen. Kapaciteten behøver ikke nødvendigvis at blive udnyttet ens i begge køreretninger.

Note: Hvis en enkeltsporet bane har en kapacitet på 2 tog i timen pr. retning, kan kapaciteten i visse timer udnyttes med 3 tog i den ene retning og 1 tog i den anden, hvis det er markedsmæssigt relevant.

### ***Dobbeltspor***

Banens kapacitet fastsættes på basis af de sædvanlige togtyper, der trafikerer banen. Kapaciteten udtrykker, hvor mange tog der på en time kan trafikere strækningen, hvis de følger så tæt efter hinanden, som banen tillader (togfølge).

Kapacitet skal herefter korrigeres for eventuelle flaskehalse på strækningen samt på de tilstødende stationer og strækninger.

Note. Hvis kapaciteten Roskilde – Ringsted er vurderet til 14 tog, og 3 af dem i Ringsted skal mod Næstved og dermed krydse togene fra Slagelse, skal kapaciteten reduceres med 3 tog til 11 tog.

### ***Bane med tre spor***

Som udgangspunkt er det nærliggende at antage, at en bane med tre spor har kapacitet som en enkeltsporet plus en dobbeltsporet bane.

Imidlertid kan et tredje spor udnyttes anderledes og mere effektivt end et enkeltspor. I en myldretid kan to af tre spor benyttes i den aktuelle retning og et spor i den uaktuelle retning.

På baner med tre spor er køreplanen i særlig grad afgørende for, hvordan kapaciteten kan udnyttes, men også tilslutningen til de tilstødende baner er meget betydende.

Note: Den finske stambane nord for Helsinki var i en årrække tresporet. Køreplanen var tilrettelagt, så vestlige spor og mellemsporet blev anvendt mod Helsinki og østlige spor fra Helsinki frem til omkring kl. 9.30. Herefter blev køreretningen på mellemsporet vendt, så østlige spor og mellemsporet blev anvendt fra Helsinki og vestlige spor mod Helsinki. Banen er i dag udbygget til fire spor.

### ***Bane med fire spor***

Egentlig er banen Høje Taastrup – København H – Klampenborg en firesporet bane. Imidlertid er sporene parvis adskilt, så der er tale om to dobbeltspor, et for fjern- og regionaltog og et for S-tog.

Den eneste firesporede bane er Høje Taastrup – Roskilde (11,8 km). I Høje Taastrup er der tale om, at hvert af de to spor fra København fortsætter i to spor mod Roskilde. I Roskilde fortsætter de to mellemspør mod Ringsted og de to yderspor mod Holbæk, men tog fra/til Ringsted kan også hensigtsmæssigt og med ret høj hastighed benytte ydersporene.

Isoleret set vurderes kapaciteten som svarende til to gennemsnitlige dobbeltsporede baner, dvs. 14-18 tog. Kapaciteten er således 2-3 tog højere end den tilstødende dobbeltsporede strækning mod København.



## ***S-banen***

Kapaciteten fastsættes som på andre dobbeltsporede baner. Generelt er kapaciteten højere end på fjernbanerne, fordi togene er ensartede, afgangsp proceduren enklere og ind- og udstigningsforholdene enklere

## **Kapacitetsudnyttelsen**

Udnyttelsen af en banes kapacitet udtrykker den andel af kapaciteten, som den faktiske køreplan udnytter. Kapacitetsudnyttelsesindekset (KUI) udtrykker, hvor belastet en bane eller et baneafsnit er.

Kapacitetsudnyttelse beregnes grundlæggende på døgnbasis.

Det er ikke realistisk at udnytte den maksimale kapacitet i alle døgnets timer, dels fordi det ikke udtrykker efterspørgslen og dels fordi det ikke vil efterlade kapacitet til at regenerere uregelmæssigheder og til vedligeholdelse af banen. Forholdet omtales hos P.H. Bendtsen som en banes virkningsgrad.

Note: P.H. Bendtsen sætter virkningsgraden til 0,5-0,6. Den er baseret på køreplanlægning i 1960'erne, som var udpræget behovsbestemt kun indeholdt få hurtige fjerntog. Køreplanmæssige konflikter blev håndteret individuelt. I dag anvendes i vid udstrækning systemkøreplaner, hvor de potentielle konflikter håndteres på systemniveau i stedet for individuelt.

Nyere dansk forskning opererer med virkningsgrad 0,6, mens nyere tysk forskning vurderer, at den er lavere end 0,6.

Argument for en virkningsgrad på ca. 0,7 er at betragte en typisk udnyttelse af en banes kapacitet baseret på følgende eksempel fra en bane med en kapacitet på 6 tog:

- time 6-9: 6 tog i timen
- time 9-19: 5 tog i timen
- time 19-23: 4 tog i timen
- time 23-6: 3 tog i timen

Det svarer til 105 tog i forhold til en maksimal kapacitet på 144 tog = 73 %.

Sammenfattende vurderes det, at højst ca. 65 % af kapaciteten normalt kan udnyttes.

Hvis KUI er mindre end 40, er der så megen kapacitet til rådighed på banen, at det normalt vil være muligt at stille kapacitet til rådighed på det ønskede tidspunkt, ligesom køretiden stort set kan blive så kort som mulig.

Hvis KUI er i intervallet 40-55, er banens kapacitet så udnyttet, at det nok vil være muligt at stille kapacitet til rådighed på det ønskede tidspunkt, men der må regnes med forlænget køretid.

Hvis KUI er højere end 55, er banens kapacitet så udnyttet, at der kun kan stilles kapacitet til rådighed på visse tidspunkter, ligesom der må regnes med forlænget køretid. Der må desuden regnes med en lavere regularitet, dels fordi forsinkelser hurtigere forplanter sig og dels fordi vedligeholdelse af banenettet betyder, at kapaciteten ikke altid kan være til rådighed.

I køreplanen fra 2006, hvor DSB's trafik udvides væsentligt (GTA-køreplanen) og hvor også Arrivas trafik udvides, vurderes kapaciteten udnyttet på følgende baner, hvis godstrafikken har samme niveau som i Køreplan 2004:

- København H – Høje Taastrup og Roskilde – Ringsted
- Vordingborg – Nykøbing F
- Køge – Næstved
- Lejre - Vipperød
- S-banen
- København H – Nivå
- Kalvebod - Kastrup
- Odense – Svendborg
- Odense – Snoghøj, Taulov – Lunderskov, Vamdrup – Vojens og Tinglev – Padborg
- Skanderborg – Århus H
- Randers - Aalborg
- Ribe – Tønder
- Skjern – Struer
- Langå – Viborg
- Herning – Skjern
- Århus H – Hornslet
- Ryomgård – Grenaa.

Det behøver ikke at være problematisk, at en banes kapacitet er fuldt udnyttet. Hvis trafikeringen svarer til behovet, er det et udtryk for, at banens infrastruktur er tilpasset behovet.

Derimod er udnyttet kapacitet problematisk, hvis ikke alle behov er opfyldt eller hvis behovet forventes at stige.

Note. Hvis behovet for godstog i korridoren Øresund – Padborg stiger fra nuværende et til to tog i timen pr. retning; vil der opstå kapacitetsproblemer i Kastrup, Vigerslev – Høje Taastrup, Vamdrup – Vojens og Tinglev – Padborg.

-----