

Arbeidsenheten i søket er ikke ekspansjonen: en matchet sammenlikning, og et regime medianen skjulte

Ola Jacob Mjølven Iversen

Fellag AS (BoatNav), Kongsberg, Norge · olajacob@fellag.as

BoatNav Research Note 2026-07 · versjon 1.0, 13. august 2026 · preprint — ikke fagfellevurdert

Abstract. Research Note 2026-06 showed that removing grid construction by precomputation makes search the dominant phase, and left one number unexplained: a cell opened on a 20 m grid costs $1,93 \times$ a cell opened on a 40 m grid, even though the number of cells opened scales exactly linearly with the grid ($\beta = 1,003$). Two mechanisms explain that factor and imply opposite designs — *scale* (deeper queue, larger footprint; the price falls when the work falls) or *resolution* (something intrinsic to fine cells; the price stays). We separated them with a matched comparison rather than a fitted coefficient: instances were bucketed by cells opened, and price compared *within* buckets. **Resolution is not the driver** — it ranks last of three predictors (Spearman 0,504 against 0,876 for work and 0,853 for footprint), and up to $\sim 90\,000$ opened cells the matched difference is 7 %. **But the median over buckets hid a regime change.** From $\sim 250\,000$ opened cells the matched difference is 63 %, at matched work and near-matched footprint, with distributions that barely overlap — and that is precisely the regime precomputation moves the planner into. Reading the source supplies a mechanism the measurement cannot: the open list is a *Set* scanned linearly on every expansion, so cost per expansion is $O(|\text{open}|)$, not $O(\log |\text{open}|)$. **The unit of work in the search is expansion $\times$ open list**, not the expansion. The consequence is an ordering: a priority queue before any choice of search strategy, because comparing strategies against a baseline carrying a removable linear scan credits each of them with removing it.

Keywords: experimental algorithmics; A* search; matched comparison; pre-registration; priority queues; maritime route planning.

Sammendrag. Research Note 2026-06 viste at når forbehandling fjerner rutenettkonstruksjonen, blir søket hovedfasen — og etterlot ett tall uforklart: en celle åpnet på et 20 m gitter koster $1,93 \times$ en celle åpnet på et 40 m gitter, enda antallet åpnete celler skalerer eksakt lineært med gitteret ($\beta = 1,003$). To mekanismer forklarer den faktoren, og de gir motsatt design — *skala* (dypere kø, større minneavtrykk; prisen faller når arbeidet faller) eller *oppløsning* (noe iboende ved fine celler; prisen står). Vi skilte dem med en matchet sammenlikning framfor en tilpasset koeffisient: instansene ble delt i bøtter etter antall åpnete celler, og prisen sammenliknet *innenfor* bøttene. **Oppløsningen er ikke driveren** — den kommer sist av tre prediktorer (Spearman 0,504 mot 0,876 for arbeid og 0,853 for avtrykk), og opptil $\sim 90\,000$ åpnete celler er den matchede forskjellen 7 %. **Men medianen over bøttene skjulte et regimeskille.** Fra $\sim 250\,000$ åpnete celler er forskjellen 63 %, ved matchet arbeid og nær matchet avtrykk, med fordelinger som knapt overlapper — og det er nøyaktig det regimet forbehandling flytter planleggeren inn i. Kildekoden gir en mekanisme målingen ikke kan gi: åpen-lista er et *Set* som skannes lineært ved hver ekspansjon, så kostnaden per ekspansjon er $O(|\text{åpen}|)$, ikke $O(\log |\text{åpen}|)$. **Arbeidsenheten i søket er ekspansjon $\times$ åpen liste**, ikke ekspansjonen. Følgen er en rekkefølge: prioritetskø før noe valg av søkestrategi, fordi å sammenlikne strategier mot en baseline som bærer en fjernbar lineær skanning gir hver av dem æren for å fjerne den.

1 Innledning

Ruteplanleggeren i BoatNav bygger et rutenett og søker i det. Research Note 2026-06 målte at byggingen får plass i en kartpakke med god margin, og at den derfor kan gjøres på forhånd [3]. Men samme notat viste at det ikke løser problemet: **fjernes konstruksjonen, blir søket hovedfasen**, og ved den eneste oppløsningen flisstigen tilbyr rekker ikke planleggeren responstidsmålet.

Det etterlot ett tall uforklart, og dette notatet handler om det. Søkets vekst mellom to oppløsninger deler seg i to faktorer:

$$7,76 \times = \underbrace{4,03 \times}_{\text{flere åpnete celler}} \times \underbrace{1,93 \times}_{\text{dyrere celle}}$$

Første faktor er forklart: A* åpner celler i eksakt proporsjon med gitteret, med eksponent $\beta = 1,003$ over 178 instanser. **Andre faktor var målt og ikke forklart.**

1.1 Hvorfor skillet er et designspørsmål

To familier av forklaring gir motsatt konsekvens:

- **Skala.** Dypere prioritetskø, minneavtrykk større enn hurtigbufferen. Prisen faller når arbeidet faller.
- **Oppløsning.** Noe iboende ved fine celler. Prisen står selv om arbeidet faller.

Skillet avgjør en påstand vi selv hadde ført: at en hierarkisk søkestrategi «angriper første faktor og ikke andre». **Den setningen forutsetter oppløsningsfamilien.** Er svaret skala, angriper en hierarkisk strategi begge — færre åpnete celler gir også billigere celler — og gevinsten er sammenlagt der vi hadde ført den som lineær.

1.2 Bidrag

1. **Oppløsningen er ikke driveren** (§3). Den rangerer sist av tre prediktorer, og ved matchet arbeid er forskjellen 7 % opp til $\sim 90\,000$ åpnete celler.

2. **Et regimeskille medianen skjulte** (§4). Fra $\sim 250\,000$ åpne celler er den matchede forskjellen 63 % — i nettopp det regimet forbehandling leverer.
3. **Arbeidsenheten er ekspansjon $\times$ åpen liste** (§5), lest av kildekoden.
4. **En rekkefølge følger** (§6): kø før strategi, av samme grunn som et implementasjonsinngrep måtte komme før etterbehandlingsaksen ble målt.

2 Apparatet

Søket kalles direkte på et rutenett bygget som i planleggeren, og bare søket tas på klokka. Det er verifisert at planleggerens egen sok-fase timer nøyaktig den samme funksjonen og ingenting annet — ikke endepunktsnapping, ikke konstruksjon. **Ingen endring i planleggerens kildekode**; hele pakken kjører på eksporterte funksjoner.

Per instans og per arm føres fire størrelser: antall åpne celler (arbeidet), tabellstørrelse (avtrykket), celledstørrelse (oppløsningen) og tid. **De to første varierer uavhengig av hverandre** — en lang, smal korridor har stor tabell og få åpne celler — og det er hele grunnlaget for å skille familiene. Uten den uavhengigheten ville prediktorene vært samme kolonne i dataene.

Begge armer kjøres i samme økt med **vekslende rekkefølge per instans**, fordi to kjøringar av identisk kode er målt til å skille om lag 7 % i median [2]. En arm kjørt ferdig før den andre måler maskinen.

2.1 Porten, lest først

Prediksjonen var registrert før kjøring: reproduseres det publiserte forholdet $1,93\times$ innenfor $\pm 25\%$?

$$2,094\,\mu s \rightarrow 3,971\,\mu s = 1,896\times$$

Innfridd med 1,8 % margin. Målingen måler det den forrige gjorde, og resten kan leses. Konstanten selv er maskinavhengig; det er forholdet som skulle reproduseres.

2.2 Matchet, ikke tilpasset

En regresjon ville ikke duget her, og grunnen er ført tidligere i serien: en koeffisient tilpasset mot en telling identifiserer tellingen, ikke mekanismen [2]. Hovedprøven er derfor en **parvis sammenlikning ved matchet arbeidsmengde**: instansene deles i bølter etter antall åpne celler, og prisen sammenliknes mellom armene innenfor hver bølge.

3 Oppløsningen er ikke driveren

Tabell 1 rangerer oppløsningen sist, og med god avstand. Den matchede sammenlikningen peker samme vei i det området der armene overlapper godt: opptil $\sim 90\,000$ åpne celler er medianforskjellen 7 %.

Så langt er svaret skala.

Tabell 1: Rangkorrelasjon mot pris per åpnet celle, 178 instanser med vei i begge armer.

prediktor	Spearman
åpne celler (arbeid)	0,876
tabellstørrelse (avtrykk)	0,853
oppløsning	0,504

Tabell 2: Matchede bølter. Avtrykket er regnet med 22 byte per celle, som er det søket faktisk allokterer.

bølge	arbeid	avtrykk	prisdif	over p75
2	$0,97\times$	$2,5\rightarrow 5,6\text{ MB}$	+7 %	41 %
3	$1,42\times$	$4,6\rightarrow 10,7\text{ MB}$	+2 %	21 %
4	$0,87\times$	$8,7\rightarrow 18,4\text{ MB}$	+13 %	58 %
5	$0,82\times$	$23,6\rightarrow 27,1\text{ MB}$	+63 %	89 %

4 Regimet medianen skjulte

Terskelen var en median over seks bølter, og den passerte. **Men en median over bølter kan skjule at bøttene ikke er like gode.** To ting må sjekkes før tallet leses: om bølta faktisk er matchet — armene kan ligge i hver sin ende av intervallet — og om forskjellen er robust eller drevet av få punkter.

To av seks bølter viste seg skjeve og utelates. Tabell 2 viser de fire som er matchet på arbeid.

Bølge 5 er matchet både på arbeid ($0,82\times$) og nær matchet på avtrykk ($1,15\times$), og viser likevel 63 %. Forskjellen er ikke uteliggere: den fine armens nedre kvartil ligger over den grove armens øvre, og 16 av 18 punkter ligger over.

Familien holder der vi er i dag. Den holder ikke i det regimet forbehandling flytter oss til — en flisankret struktur ved 20 m gir over en million celler ved medianinstansen [3], altså over bølge 5.

4.1 Avtrykket var større enn proxyen antok

Vi registrerte tabellstørrelsen som en **proxy** for minneavtrykket, og den viste seg å underdrive med en faktor 22: søket allokterer per celle åtte byte til hver av to kostnadstabeller, fire til foreldrepeker og én til lukketmarkering, i tillegg til den ene byten farbarheten selv bruker. Bølge 5 er dermed 24–27 MB, ikke 1,1–1,3.

Rettelsen endrer ingen konklusjon — avtrykk og arbeid rangerer likt uansett skalering — men den er ført fordi proxyen var registrert som en proxy, og en registrert svakhet som slår til skal navngis.

5 Arbeidsenheten

Kildekoden gir en mekanisme målingen ikke kan gi. A^* [4] velger ved hver ekspansjon noden med lavest kostnadsanslag. Her holdes åpen-lista som en mengde, og hver ekspansjon gjør et **fullt lineært søk** gjennom den for å finne den noden. Kostnaden per åpnet celle er dermed proporsjonal med hvor mange noder som ligger åpne, ikke med logaritmen av dem.

Arbeidsenheten i søket er ekspansjon $\times$ åpen liste, ikke ekspansjonen. Det er samme form som denne serien fant for etterbehandlingen, der enheten viste seg å være kant-besøket og ikke knekkpunktet [2]: en telling alle brukte viste seg å være feil telling.

Størrelsen på den åpne lista er **ikke målt**. Den er en lokal variabel, og å telle den krever instrumentering i planleggings kjerne — som er registrert som et betinget neste steg, med den samme nøytralitetskontrollen tidligere instrumentering gikk gjennom.

6 Følgen: kø før strategi

Denne serien har argumentert én gang før for at et implementasjonsinngrep måtte komme før en akse ble målt: sammenliknes algoritmealternativer mot en baseline med kjent, unngåelig slakk av en viss størrelse, overvurderes hvert alternativ [2].

Argumentet gjelder her, og sterkere. Baselinens søk bærer en fjernbar lineær faktor per ekspansjon. Måles søkeaksen mot den, får enhver alternativ strategi æren for å fjerne en skanning som en prioritetskø fjerner alene — uten å endre en eneste rute.

En binærheap [5] har stått på komponentlista siden forhåndsregistreringen, med merknaden at den blir relevant først ved store cellemengder. **Dette er målingen som viser at vi er der.**

7 Hva som ikke er målt

Størrelsen på den åpne lista. Mekanismen i §5 er lest av koden, ikke målt. Residualen i bønne 5 er forenlig med den, men ikke bevis for den.

Hvilken strategi som skal velges. Notatet finner arbeidsenheten; valget mellom hierarkisk søk og alternativene er en egen registrering.

Om noe av dette overføres til telefonen. Kø og hurtigbuffer håndteres ulikt av de to motorene, og forholdstall i denne serien overføres ikke uten egen måling [1]. Formen er resultatet, konstanten er maskinens.

To armer er to punkter. Skaleringen hviler på to oppløsninger. Motvirket ved at hovedprøven er matchet framfor tilpasset, men et tredje trinn ville vært sterkere.

8 Konsekvens

Oppløsningen var ikke problemet. Den rangerer sist av tre prediktorer, og der armene overlapper godt er forskjellen 7 %.

Men skalaen er det, og den slår inn brattere enn en median viser. Fra en kvart million åpne celler koster den fine armen 63 % mer per celle ved matchet arbeid — og det er regimet forbehandling leverer.

Og arbeidsenheten var ikke den vi telte. En ekspansjon er ikke en konstant mengde arbeid så lenge den bærer en lineær skanning av alt som ligger åpent. Det gjør rekkefølgen på det videre arbeidet gitt: retten køen først, mål strategiene etterpå.

Tilgjengelighet

Artefaktene er frosset med SHA-256: korpus b13a98ec, fasit 96020cd3, flismanifest 2a78f230. Målekjøringen og diagnostikken foreligger som committede skript med sitt artefakt, og kjøringen leste 0 fliser fra nett. Sjøkartdata er Kartverkets, under NLOD.

Erklæringer

Interessekonflikt: Forfatteren eier Fellag AS, som utvikler BoatNav. Notatet måler Fellags eget produkt. Egenfinansiert, ingen ekstern oppdragsgjever.

KI-assistanse: Arbeidet er utført med gjennomgående assistanse fra Claude (Anthropic) — i forhåndsregistreringen, i måleskriptene, i kjøringen, i analysen og i manuskriptet. Prediksjonene og tolkningen ble registrert før tallene forelå, og rekkefølgen er etterprøvbart i prosjektets versjonskontroll. Forfatteren står ansvarlig for innholdet.

Bidragsroller (CRediT): Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Formal analysis, Validation, Visualization og Writing er utført av forfatteren med KI-assistanse som beskrevet over. *Validation* er delvis oppfylt: porten kalibrerer mot et publisert tall fra en uavhengig kjøring, men målingen er ikke reimplementert av et uavhengig spor. Det er svakere enn seriens tidligere utgaver og er ført som det.

Data og kode: Måleskript og artefakt er committet i prosjektets repository. Flis-snapshotet er 11 GB og arkivert utenfor versjonskontroll; tilgjengelig på forespørsel.

Ansvarsavgrensning: BoatNav gir veiledende rutforslag for fritidsbruk og er ikke et godkjent navigasjonshjelpemiddel.

Versjon: 1.0, 13. august 2026. Første utgave; ingen endringslogg ennå.

Referanser

- [1] O. J. M. Iversen. Da målingen tømte en akse: enhetsmåling per beregningsfase, og et budsjett som ikke er innen rekkevidde. *BoatNav Research Note 2026-04*, Fellag AS, 2026.
- [2] O. J. M. Iversen. Arbeidsenheten er polygonkanten: en kostmodell prøvd på 273 instanser, og to kontroller som ikke fantes. *BoatNav Research Note 2026-05*, Fellag AS, 2026.
- [3] O. J. M. Iversen. Plassen var aldri det bindende: en forbehandlingsport prøvd på 4 600 fliser, og to forutsetninger som ikke holdt. *BoatNav Research Note 2026-06*, Fellag AS, 2026.
- [4] P. Hart, N. Nilsson & B. Raphael. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Trans. Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 1968.
- [5] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest & C. Stein. *Introduction to Algorithms*, 4. utg. MIT Press, 2022. Kapittel 6.