



## SEKVENSIERING AV PRODUKSJONEN AV KUNDETILPASSEDE VEGGER

Lars Skjelstad, Sven-Vegard Buer, Jo Wessel Strandhagen

SINTEF Digital, avd. Teknologiledelse



# Innhold

- Case bakgrunn
- Forskningsmetode
- Resultater
- Læringspunkter



SINTEF

# Industrialisert prefabrikkert hus-bygging

- Hus med 1-5 etasjer
- Ingeniører har designet huset og delt det i håndterbare moduler (ytter-vegger, inner-vegger, gulv, tak-deler, ...)
- Bygningsmodulene produseres i fabrikk med industrielle prosesser
- Modulene fraktes til byggeplass med kranbil for montasje
- Montasje i en forhåndsdefinert rekkefølge
- Pakker på tre- og tre- vegger blir løftet inn på byggetomt

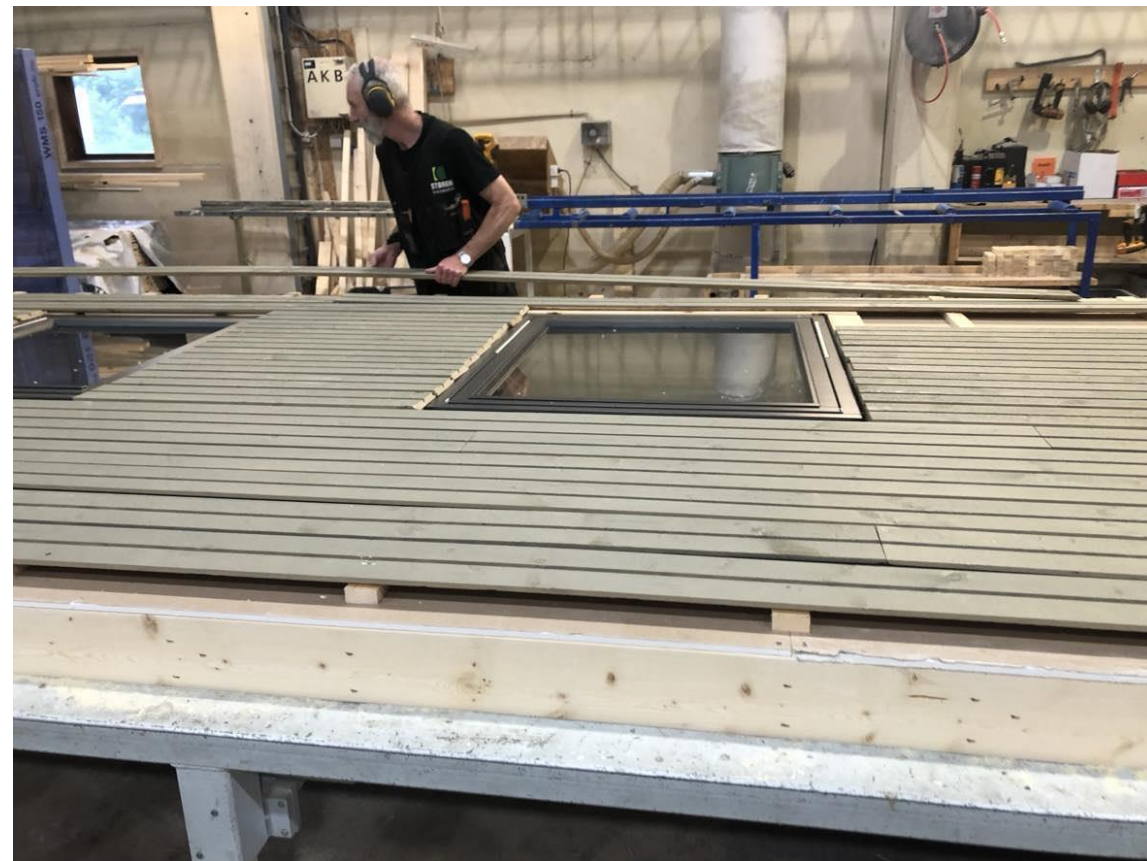




SINTEF

## Case

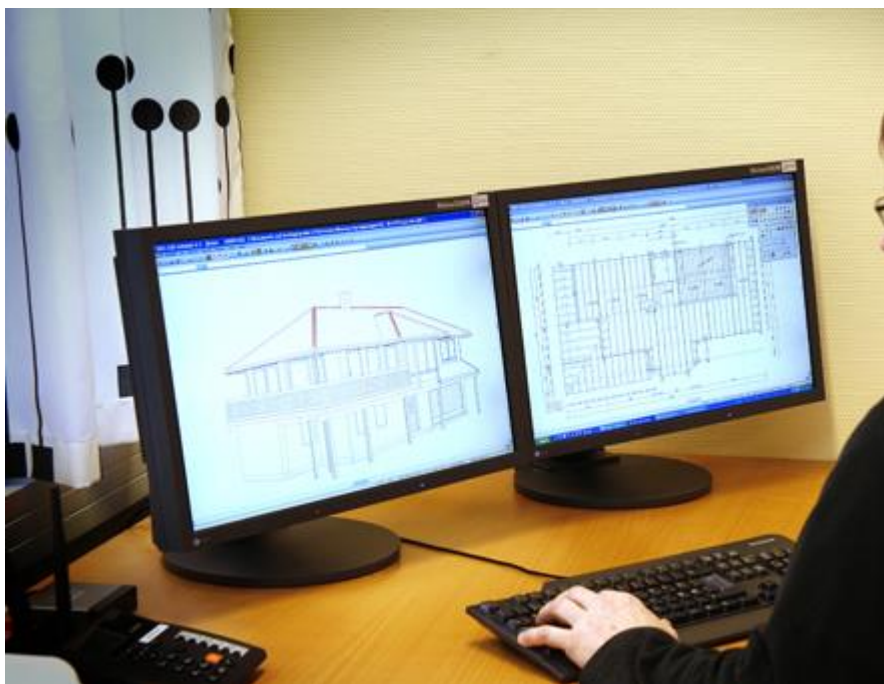
- Kundetilpassede produkter/moduler basert på individuelle kundeordre - 'ingen vegger er like'
- Produksjonslinjen for yttervegger består av 8 stasjoner
- Fabrikken følger samme sekvens i produksjonen som i montasjen!
- Fører til venting og kø-dannelse i produksjonen





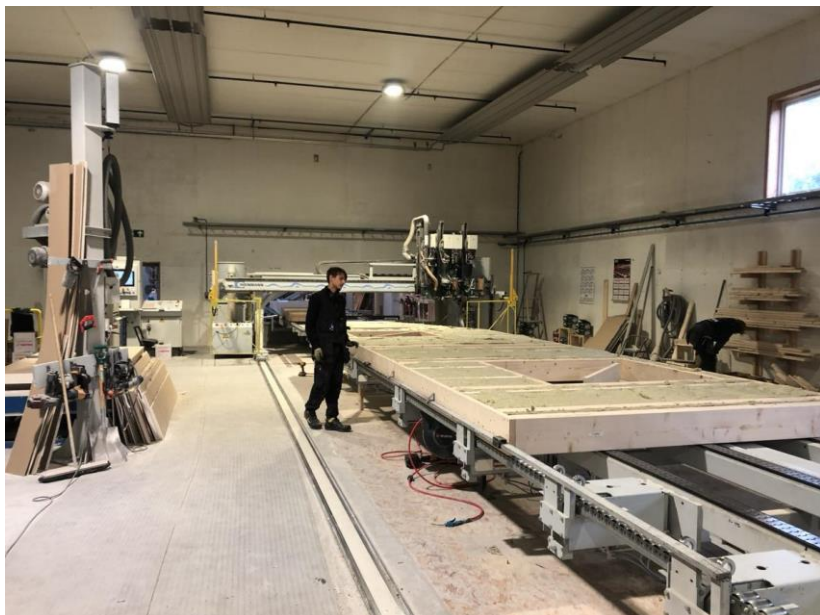
SINTEF

# Konstruksjon og moduler





SINTEF



Technology for a better society



# Produksjonslinje for yttervegger

Ramme

Isolering

Buffer

Plate

Buffer

Vinduer

Lekting

Ytter  
panel

Omram-  
ming

Buffer

Pakking



SINTEF

## Case

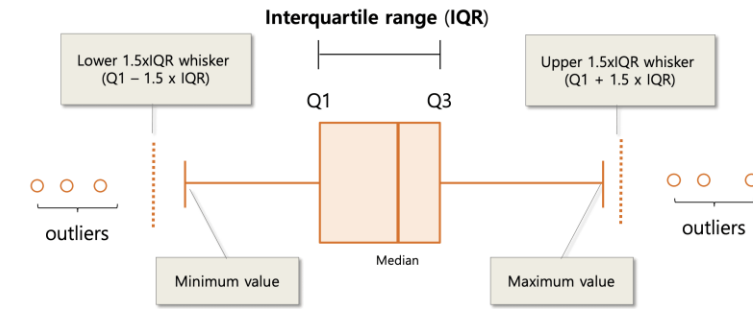
- Alle ytter-vegger går gjennom samme linje
  - Veggene varierer mye med tanke på nødvendig prosesseringstid
  - Det er begrenset bufferkapasitet i linjen, og ingen mulighet til å 'kjøre forbi' tregere vegger
  - **Tema:** Stasjoner venter på vegger (idle time) eller kan ikke sende vegg videre (blocked time)
- Reduserer produktiviteten til linja og øker 'the makespan' i produksjonen



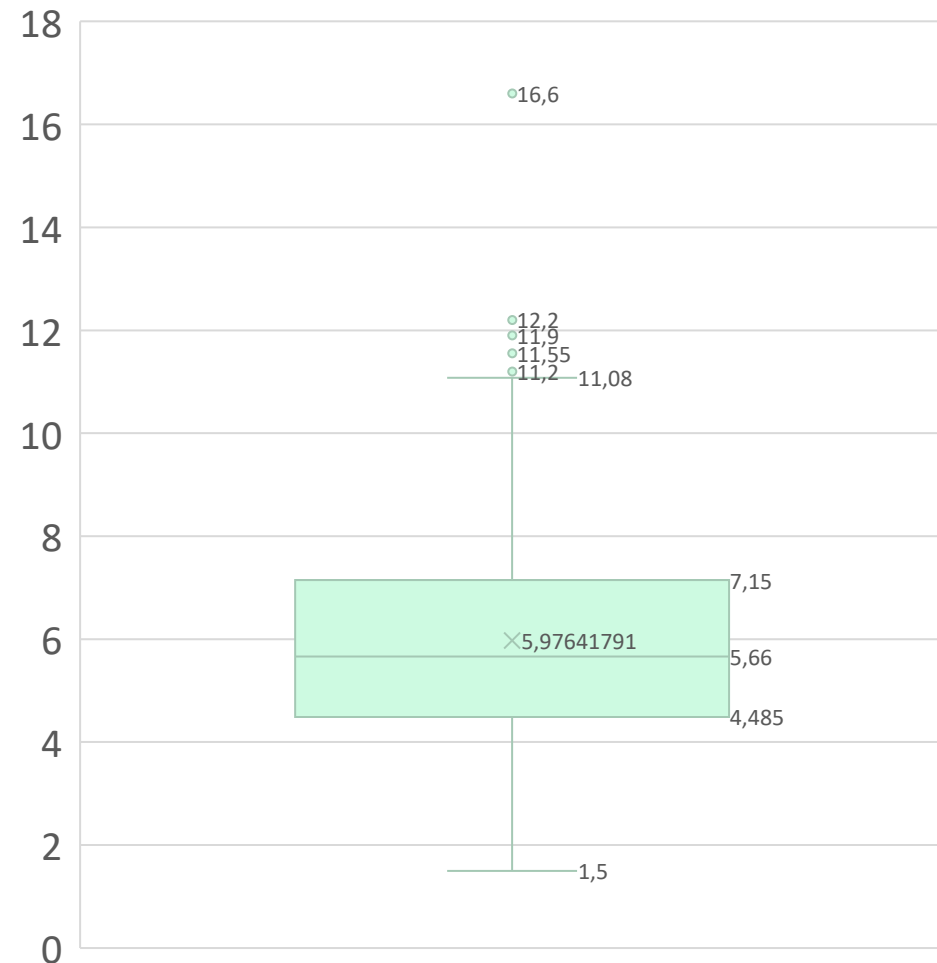


# Sammenligning: Total operasjonstid

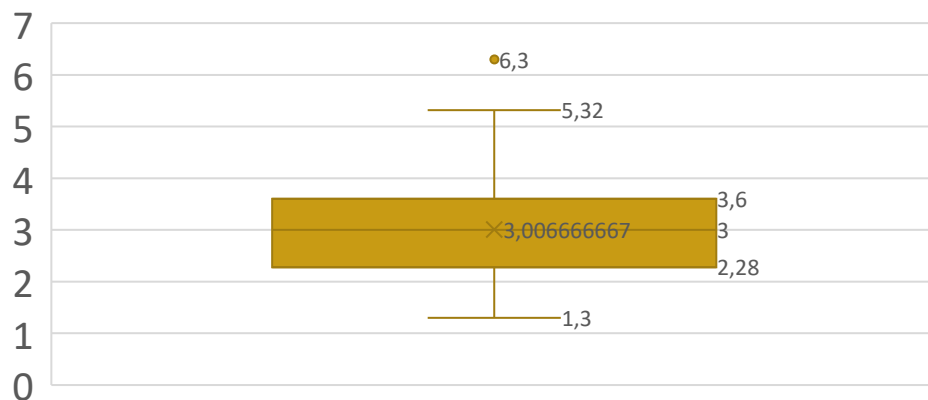
	Average of Lengde [m]	Average of Operasjons-tid (sam.)	Average of m/time (sam.)
Med vindu	6,22	5,98	1,14
Uten vindu	5,46	3,01	1,93



Total operasjonstid **med** vindu



Total operasjonstid **uten** vindu





SINTEF

# Fremgangsmåter for å redusere ‘makespan’

For å redusere tiden til en veggserie (the makespan) i en planlagt produksjon og gjøre det mulig å øke effekten til linja, kan man benytte flere strategier.

- 1. Re-balansering av produksjonslinja:** Fordel på nytt de ulike oppgavene på de forskjellige stasjonene for å oppnå mer lik prosessetid (takt tid) på stasjonene nedover linjen.
- 2. Endre linje design:** For eksempel, legg til en «forbi-kjørings» mulighet slik at de raskeste produktene kan kjøre forbi tregere produkter, eller legg til ekstra buffer kapasitet.
- 3. Endre rekkefølgen på produktene:** En ufordelaktig sekvens av produkter kan skape ekstra ventetid for noen stasjoner. For eksempel, å slippe et “raskt” produkt rett etter et “tregt” kan føre til at stasjoner blir blokkert fra å sende produkter nedover linja, mens det motsatte scenario kan skape situasjoner hvor stasjoner venter på produkter.



SINTEF

# Målet med studien

- Vårt prosjekt undersøkte potensialet med å finne den optimale produksjonsrekkefølgen med tanke på kapabiliteter i den eksisterende linjen og leveransemåten, ved å studere virkelige data fra en måneds produksjon av en variasjon av vegger.
- Denne studien fokuserer på å undersøke virkningen av produksjonsrekkefølge i en produksjonslinje med kundetilpassede produkter

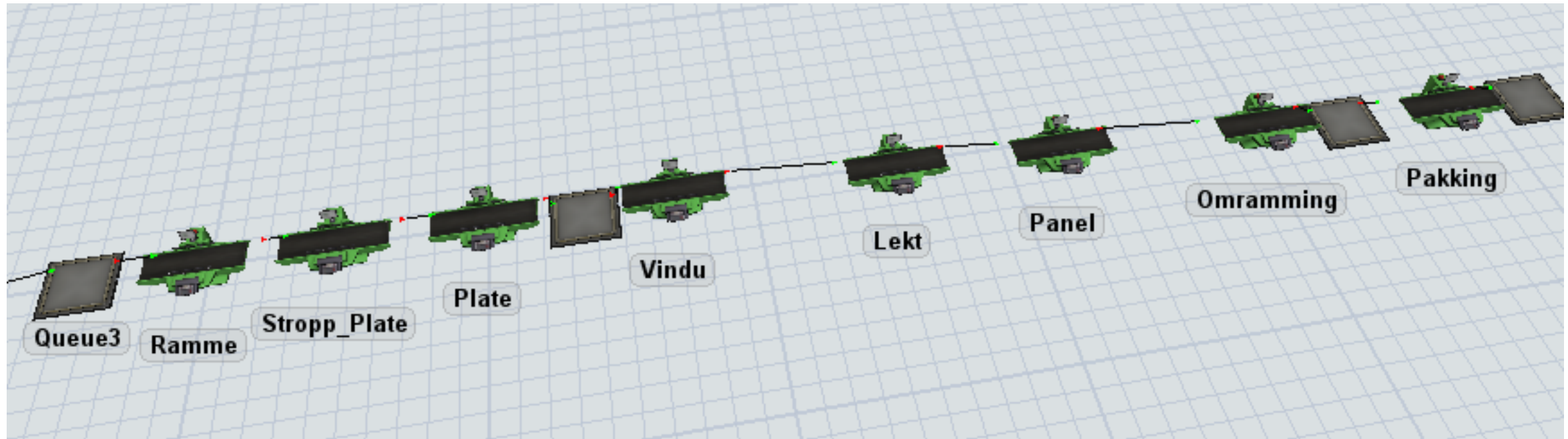


SINTEF

# Forskningsmetode

- Observerte linja fysisk, så både venting og kødannelse. Bestemte oss for å studere videre i en simuleringsmodell
- Studerte historiske data fra en måneds produksjon, 110 vegger over 20 arbeidsdager!
- Software: FlexSim
- Brukte produksjonsdata (bearbeidingstider) fra en full måneds med 110 forskjellige produkter til 7 forskjellige prosjekter.
- Brukte OptQuest optimerer for å teste forskjellige sekvenser av produkter (kombinasjoner)
- **Hovedmål:** Minimere tiden til en serie (the makespan)

# Modellen i Flexsim



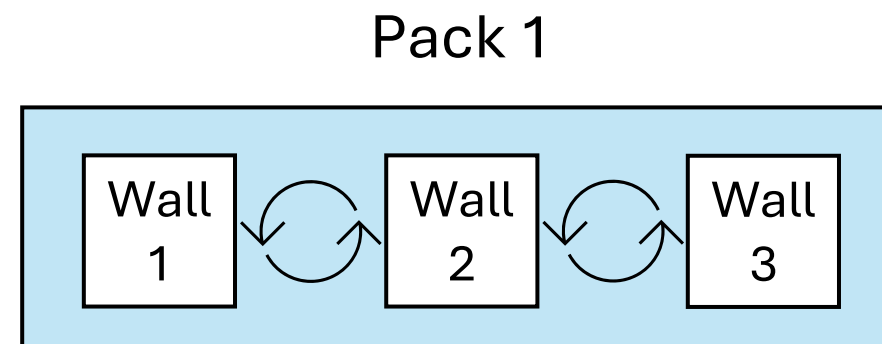


SINTEF

# Simulering for forbedret produksjons-sekvens

## Krav

- Hus-firmaet leverer til prosjekter, og hvert prosjekt kan inneholde alt fra 12 til 40 produkter som skal monteres av kunde.
  - Produktene trenger å pakkes i pakker på 3 stk, i henhold til montasjerekkefølgen.
    - **Dagens sekvens:** I henhold til kundenes montasjerekkefølge (1-2-3) (4-5-6) (7-8-9) etc.
    - **Vi ønsker å teste:**
      - Forskjellige rekkefølger 'inne i' hver pakke  
→ for eksempel (1-3-2), (2-1-3), (3-1-2) etc.
- OG
- Forskjellig rekkefølge på pakkene  
→ for eksempel (4-5-6) (7-8-9) (1-2-3) etc.





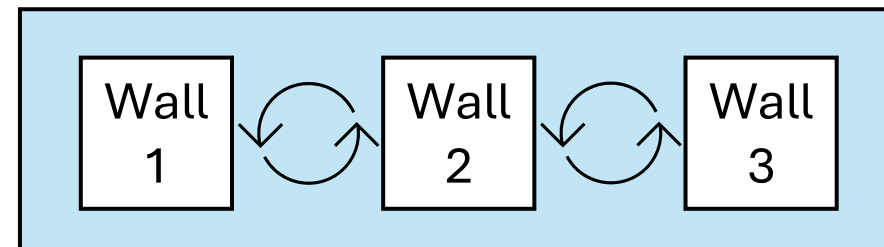
SINTEF

# Simulering for forbedret produksjons-sekvens

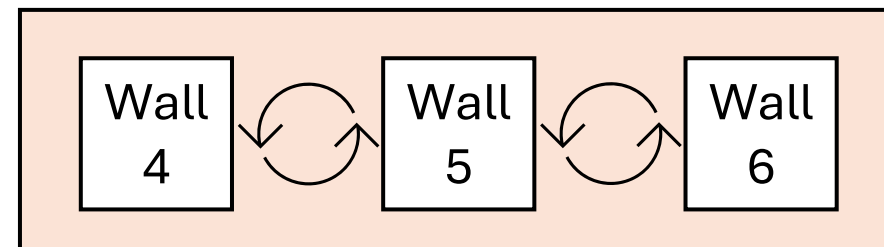
## Krav

- Hus-firmaet leverer til prosjekter, og hvert prosjekt kan inneholde alt fra 12 til 40 produkter som skal monteres av kunde.
  - Produktene trenger å pakkes i pakker på 3 stk, i henhold til montasjerekkefølgen.
    - **Dagens sekvens:** I henhold til kundenes montasjerekkefølge (1-2-3) (4-5-6) (7-8-9) etc.
    - **Vi ønsker å teste:**
      - Forskjellige rekkefølger 'inne i' hver pakke  
→ for eksempel (1-3-2), (2-1-3), (3-1-2) etc.
- OG
- Forskjellig rekkefølge på pakkene  
→ for eksempel (4-5-6) (7-8-9) (1-2-3) etc.

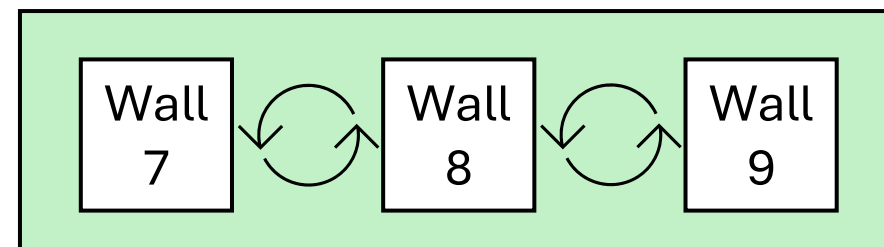
Pack 1



Pack 2



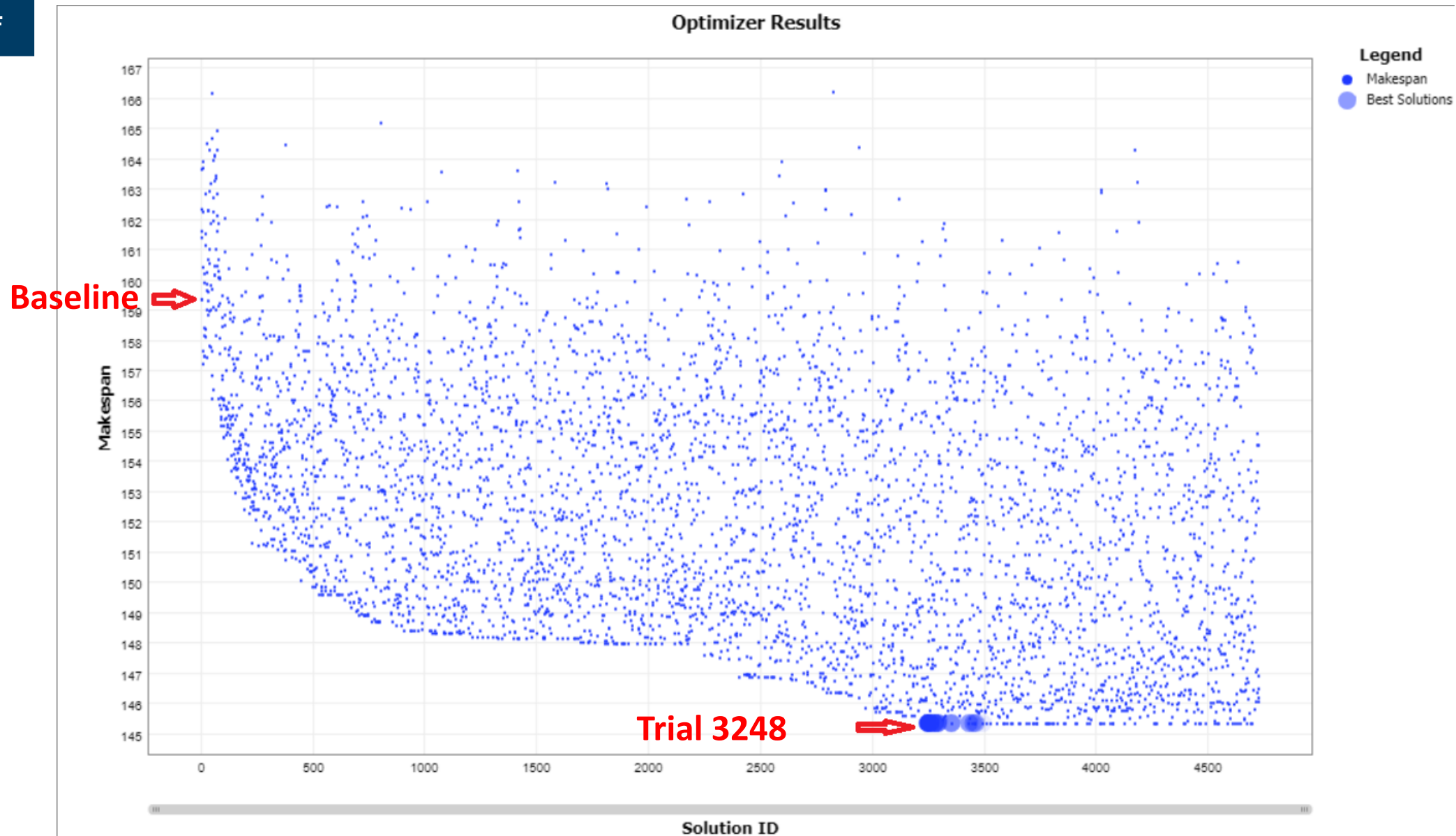
Pack 3





SINTEF

# Ulike simulerte løsninger







# Simuleringsresultater

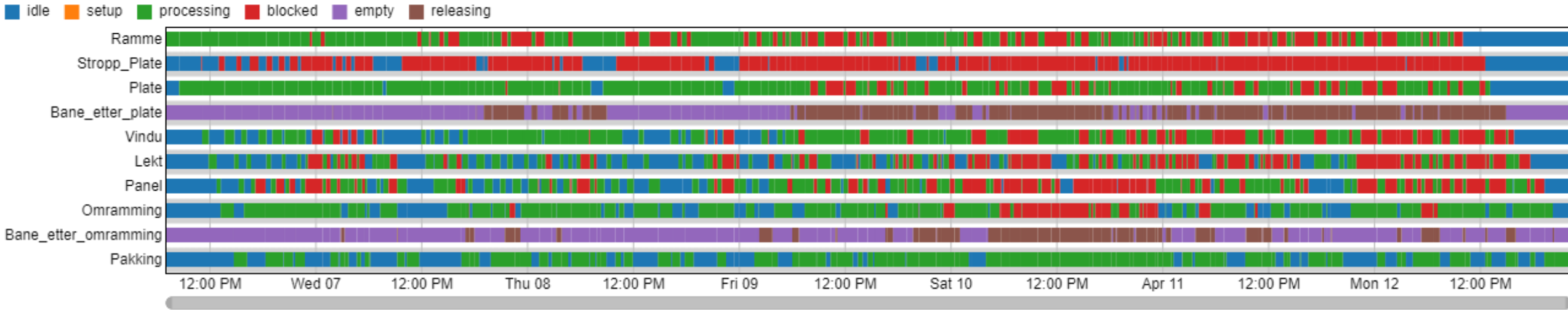
KPI	Description	Baseline	Trial 3248	Change
Makespan	Time from the first product enters the production line until the last product leaves the line	159.35 hrs	145.35 hrs	-14 hrs (-8.8%)
Sum idle	The sum of the time periods where a station waits for a product from the previous station	259.04 hrs	229.80 hrs	-29.24 hrs (-11.3%)
Sum blocked	The sum of the time periods where a station cannot send a product down the line because the following station is not finished	359.68 hrs	298.12 hrs	-61.56 hrs (-17.1%)
Avg. utilization	Average utilization (production time/available time) across all stations	55%	60%	5%
Max utilization	The utilization of the station with the highest utilization	76%	83%	6%



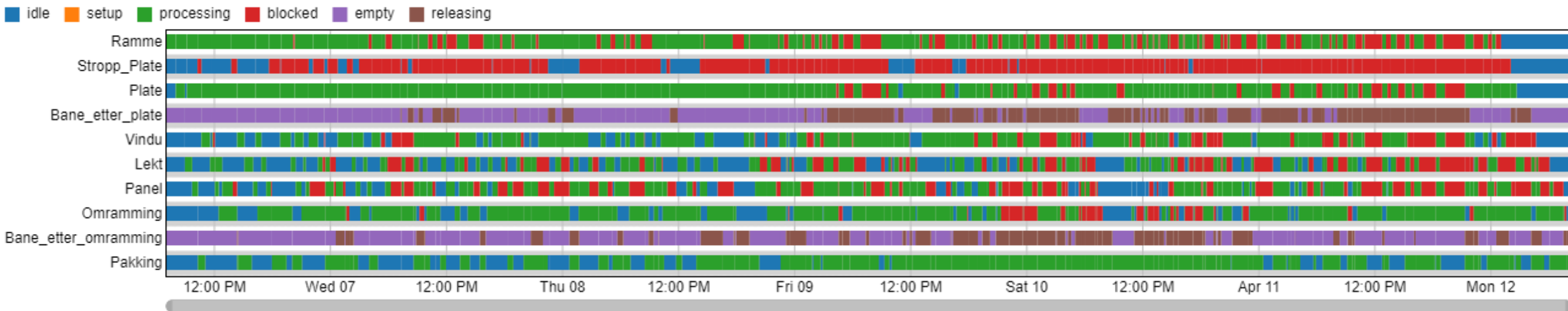
Potential to save  
**~2 days** in  
makespan that  
month  
→ If 10 operators  
on the production  
line, this means  
**20 working days**  
saved



### State Gantt - Scenario 1 Replication 1

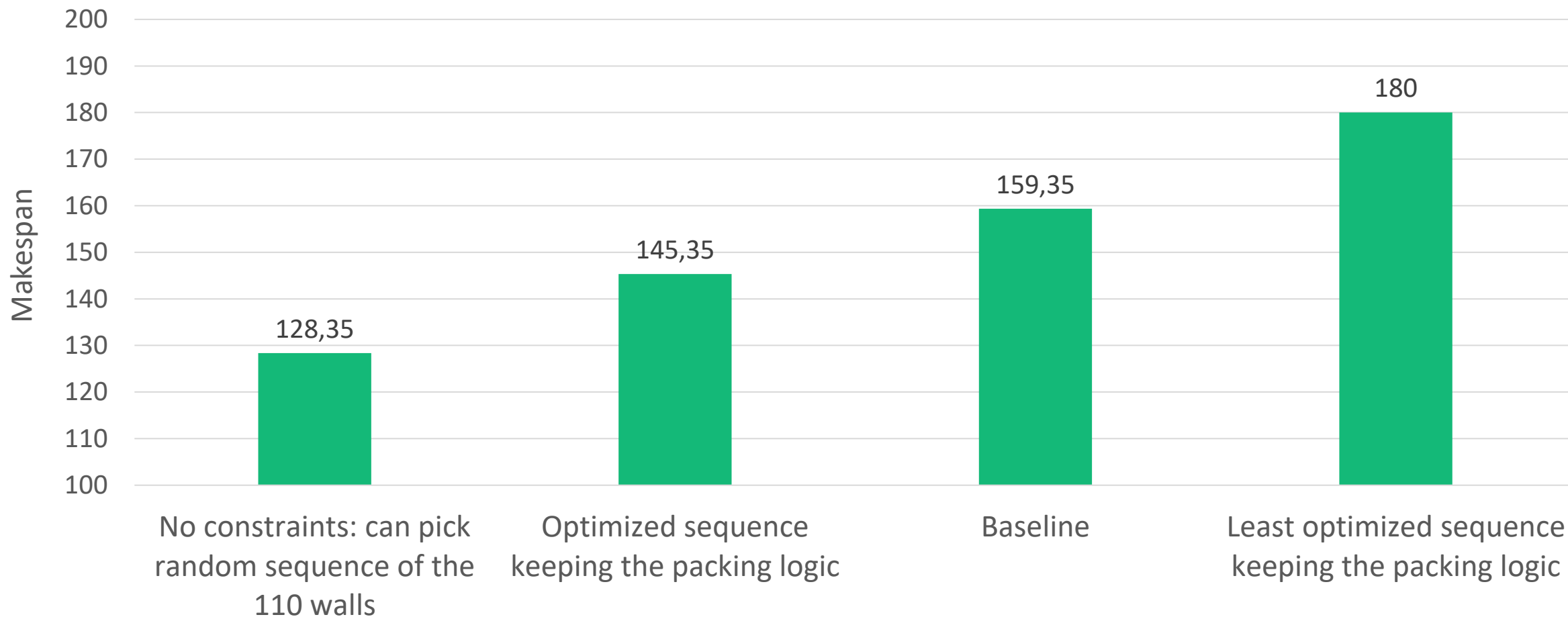


### State Gantt - Solution 3248 Replication 1





# Videre undersøkelser ang. Effekten av ordre- rekkefølge





SINTEF

# Læringspunkter

- Rekkefølgen produkter lages i har stor innvirkning på den totale produktiviteten
- Å finne den optimale rekkefølgen krever innsats og analyser i forkant
- Simulering var nyttig for å vise potensialet ved å optimere på rekkefølgen til produkter i et prosjekt
- Casebedriften aksepterer en rekkefølge tilpasset effektiv montasje på tomte, og ikke egen produksjon i fabrikk. Å bruke denne rekkefølgen viste seg å være ca. midt på intervallet mellom korteste og lengste makespan
- Modellen brukt til analyse av rekkefølge kan utvides til å eksperimentere med alternative linjedesign.
- Simulering er i dag et verktøy som er relativt lett å bruke, både til bygging av modell, verifisering, og eksperimentering, og nå også optimering!



SINTEF

Technology for a better society



SINTEF

# Hvordan klassifisere vegger før produksjon?

- **Class 1:** Tette vegger (Ingen dører eller vinduer), eller ingen ytterkledning, ikke panel
- **Class 2:** Vegger med 1-2 vindu/dører, horisontal paneling
- **Class 3:** 3 vindu eller mer, vertikal tre-panel
- **Class 4:** Roterte vegger (høyde > 3.2 m), flere lag med plate
- **Class 5:** Vegger som ikke burde gått i linja, fordi de er for lange, for lave, har skifte i høyde over lengden, etc. Bør lages for hånd.