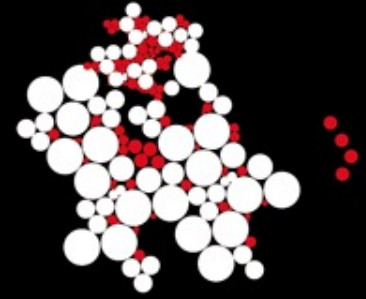


**We kunnen de zorg blijven leveren
op het huidige kwaliteitsniveau
met gelijkblijvende resources
door optimalisatie van logistiek
gebaseerd op slim gebruik van data**





Optimale afstemming van de roosters van spoedeisende hulp verpleegkundigen via voorspelling van de werkdruk

Richard J. Boucherie,



Stochastic Operations Research, Applied Mathematics

CHOIR-Center for Healthcare Operations Improvement & Research

Marieke Romeijn, Stef Baas, CHOIR,

Elin Dybvik, Ålesund Sjukehus

Aina Goday, Sintef

Rob Vromans, Rhythm

CHOIR



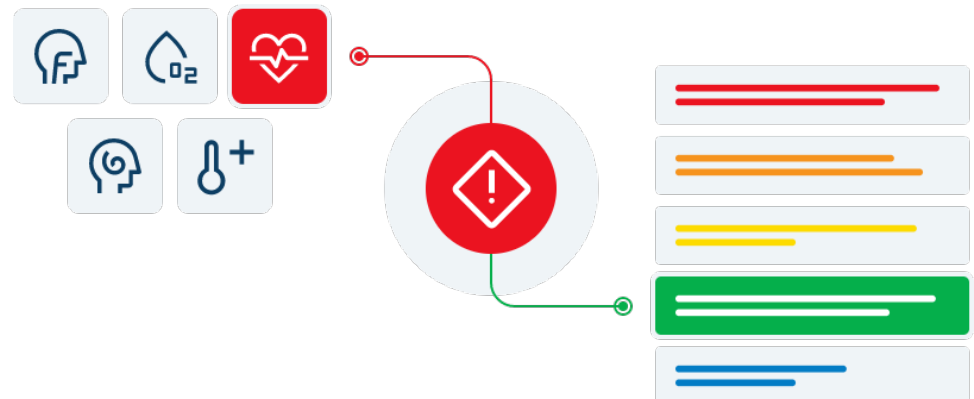
Uitdaging

- Variabele drukte op spoedeisende hulp
- **Maak rooster dat werkdruk balanceert**
- 12– 24 weken vooruit
- Huidige situatie:
 - Substantiële onderbezetting
 - en overbezetting
- Historische data
 - Aankomsttijdstippen
 - Ontslagtijdstippen
 - Kleur
 - Groep
- **Voorspel werkdruk en maak rooster dat de werkdruk volgt**



Triage in Ålesund sjukehus

- Rapid Emergency Triage and Treatment System (RETTTS)
 - decision support system voor triage in Scandinavië
 - 5 triage kleuren:
 - rood (zeer urgent, 0 min), oranje (20 min), geel (90 min), groen (120 min), blauw (overflow polikliniek)
 - Geel / groen: verder onderscheid in groep: polikliniek / overige



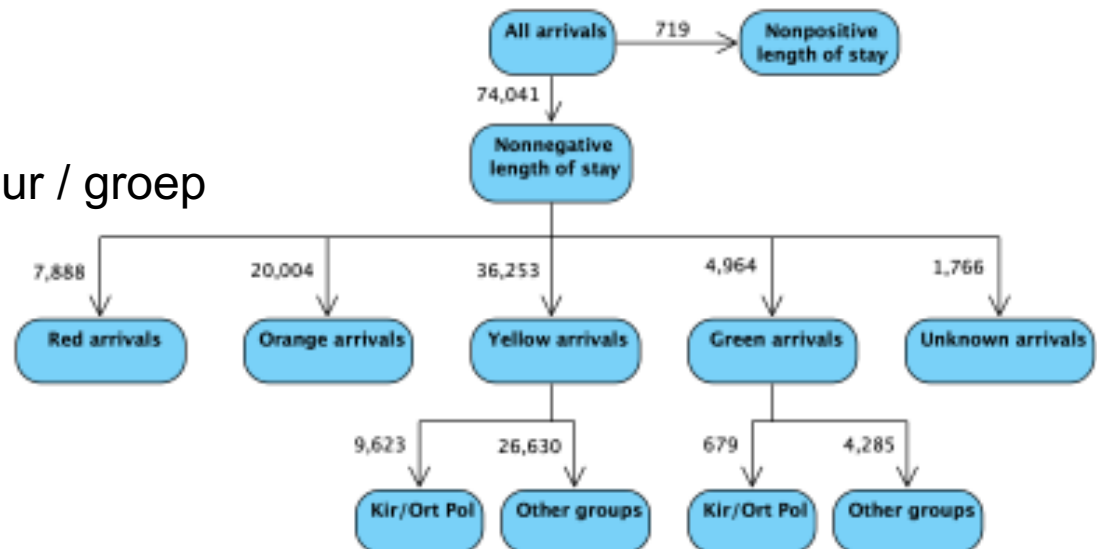
Zorgzwaartemodel in Ålesund sjukehus

- rood (0), oranje (20), geel (90), groen (120), blauw (∞)
- Geel / groen: polikliniek / overage
- Expert opinion hoeveelheid werk gedurende verblijftijd patient
- Afhankelijk van fase: eerste uur, ontslag, tijd daartussen

Triage color	Group	Phase	Length of phase (minutes)	Minutes of work per minute
Red	All	-	-	2
Orange	All	First hour	60	1
Orange	All	Between	-	$\frac{1}{2}$
Orange	All	Discharge	30	1
Yellow	Kir/Ort Pol	First hour	60	$\frac{1}{4}$
Yellow	Kir/Ort Pol	Between	-	$\frac{1}{12}$
Yellow	Kir/Ort Pol	Discharge	15	1
Yellow	Other	First hour	60	$\frac{1}{2}$
Yellow	Other	Between	-	$\frac{1}{4}$
Yellow	Other	Discharge	20	1
Green	Kir/Ort Pol	First hour	60	$\frac{1}{4}$
Green	Kir/Ort Pol	Between	-	$\frac{1}{12}$
Green	Kir/Ort Pol	Discharge	15	1
Green	Other	First hour	60	$\frac{1}{2}$
Green	Other	Between	-	$\frac{1}{4}$
Green	Other	Discharge	20	1
Blue	All	First hour	60	$\frac{1}{20}$
Blue	All	Between	-	$\frac{1}{20}$
Blue	All	Discharge	3	1

Data: aankomst patiënten

- Historische data: voor iedere patiënt 01/01/2018 – 26/04/2023
- 74166 patiënten
 - Aankomsttijdstip
 - Ontslagtijdstip
 - Kleur
 - Groep
- Classificatie
- Aantallen per kleur / groep



Data: aankomst patiënten

- Historische data (aankomsttijdstippen):

- Aantallen per kleur / groep

- Jaarbasis
 - Geel stijgt

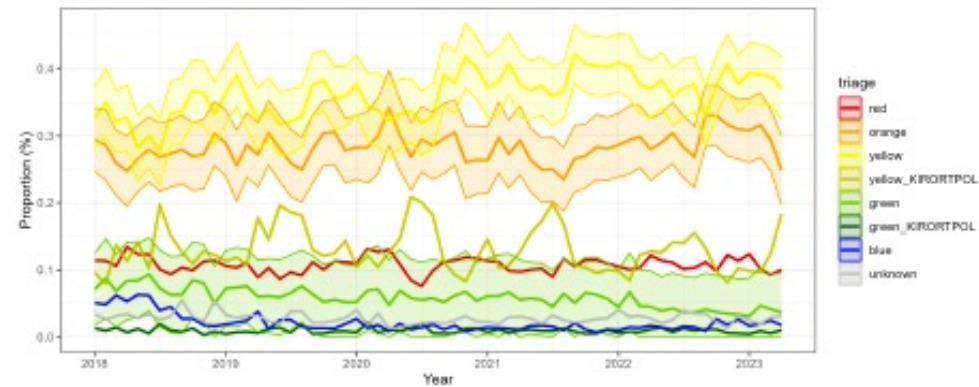
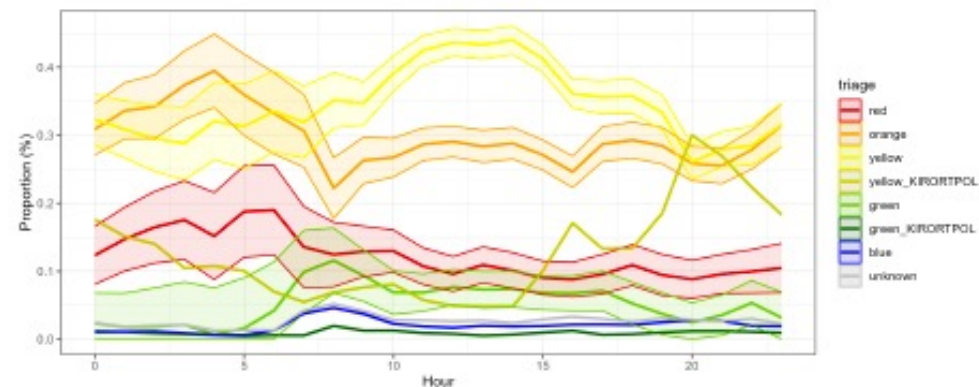


FIGURE 2: Distribution of patient types over the months.

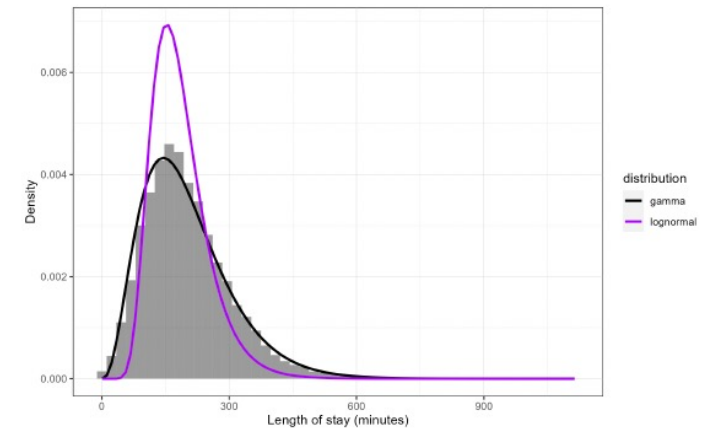
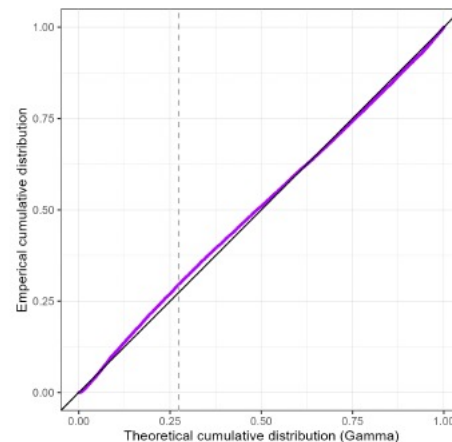
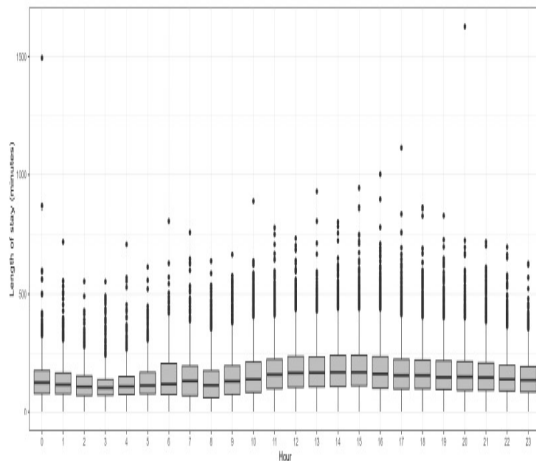
- Uurbasis op de dag

- Nacht: rood, oranje (spoed)
- Dag: groen, geel



Data: verblijftijd

- Aanname: verblijftijd hangt alleen af van patiënt
- Data (aankomst en ontslagtijdstippen):
 - verblijftijd varieert niet over de jaren en dag van de week
 - Maar lijkt **wel** te variëren over de uren van de dag (voor geel)
- meenemen in model
- PP plot: **gamma verdeling** goede benadering voor verblijftijd



Analyse: aankomstproces

- **Literatuur:** aankomstproces patiënten op SEH is Poisson proces

$$f_t(n) = \mathbb{P}(N_t = n) = e^{-\lambda_t} \frac{\lambda_t^n}{n!}.$$

- Gekarakteriseerd door gemiddelde aantal op ieder tijdstip t

$$\lambda_t = \beta \left[C + \sum_y p_y(t) \right] \cdot d_l(t) \cdot d_{ls}(t) \cdot d_s(t) \cdot d_b(t) \cdot d_a(t) \cdot e^{f_y(t)+f_w(t)+f_d(t)}.$$

- **Effecten:**
 - Griepgolf
 - Variatie over seizoenen, dagen van de week, uren van de dag
 - Vakanties (zomervakantie, korte vakanties, ...)
 - Dag voor en dag na vakanties
 - Trend

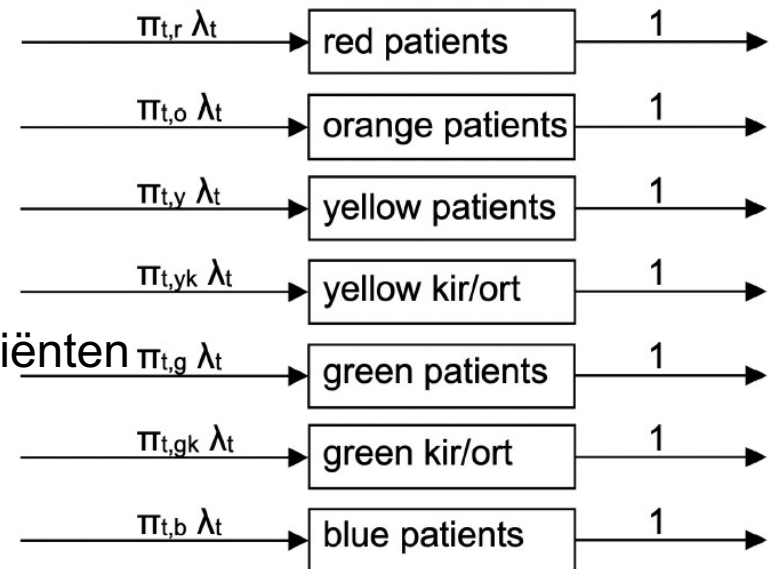
Analyse: werkdruk verpleegkundigen

- Aantal aanwezige patiënten
- Iedere patiënt volgt eigen pad
- Wachtrijmodel, waarin per triage kleur / groep samenkomen:

- Aankomstproces
- Verblijftijd
- Zorgzwaartemodel

- Cumulatieve effect van alle patiënten
- $(M_t/GI_t/\infty)^7$ wachtrijmodel
- Zorgzwaarte op tijdstip t :

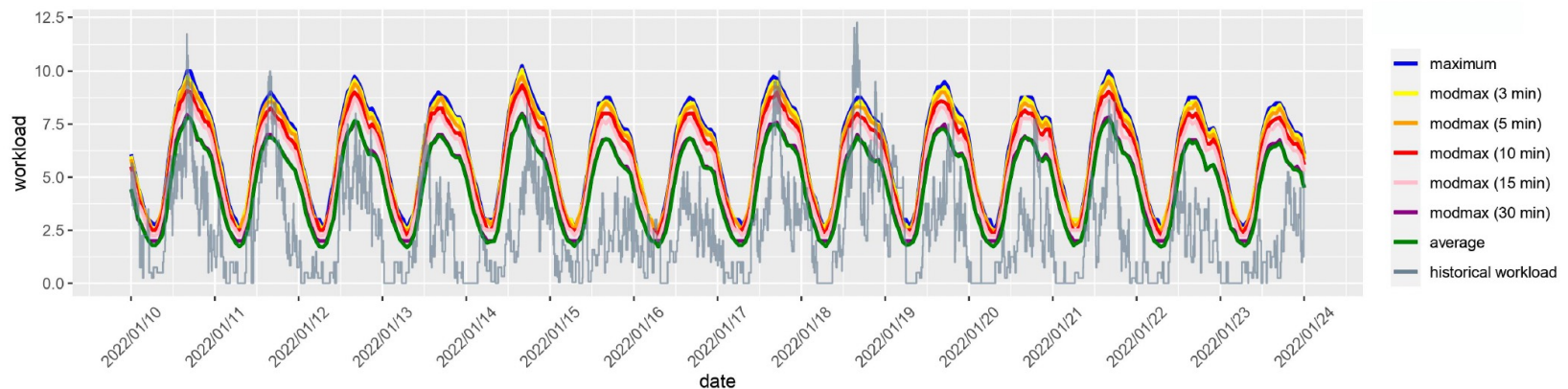
$$w_c(t) = \int_{-\infty}^{\infty} E[W_{c,s}] \mathbb{P}(L_s(t) = c) \lambda(s) ds.$$



- Die tellen we dan weer op voor de totale werkdruk

Analyse: werkdruk verpleegkundigen

- Verschillende maten:
 - Maximale werkdruk
 - Modmax: tel maximum gedurende meer dan *i* minuten (3, ..., 30)
 - Gemiddelde werkdruk per uur
- 1000 simulaties met gevonden parameters (90^e percentiel):



Analyse: optimalisatie van de roosters

- Rekening houden oa met:
 - Minimaal aantal aanwezige verpleegkundigen = 3 (oa spoed)
 - Grens op onderbezetting: minimaal 80% van zorgzwaarte bezet
 - Lengte van diensten: minimaal 7:30 uur, maximaal 12:10 uur
- Roosteren aantal verpleegkundigen, niet de individuen
- Huidig schema (iedere week gelijk, maar **niet volledig ingevuld**)

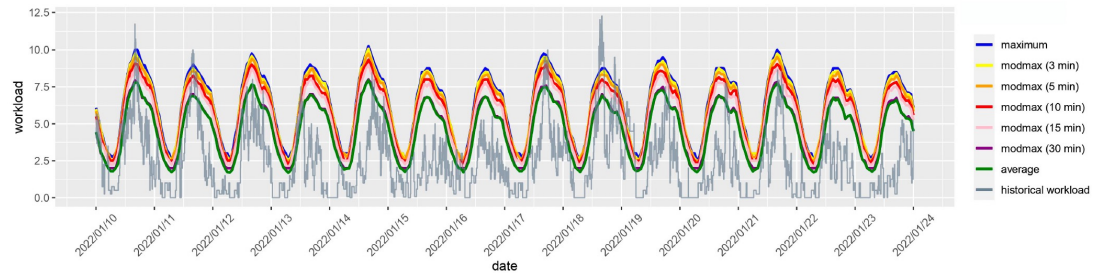
Start	End	Length	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
07:30	15:00	7:30	5	5	5	5	4		
10:00	22:10	12:10					1	1	1
08:00	20:10	12:10					4	4	4
14:45	22:15	7:30	6	5		5	1		
11:30	19:00	7:30	1	1	1	1	1		
13:45	22:15	8:30			5				
20:00	07:35	11:35							4
20:00	08:10	12:10					4	4	
22:05	07:35	9:30	4	4	4	4			

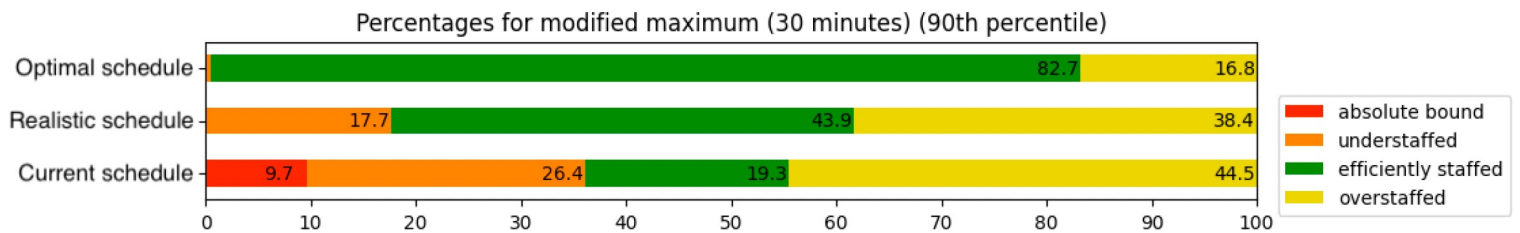
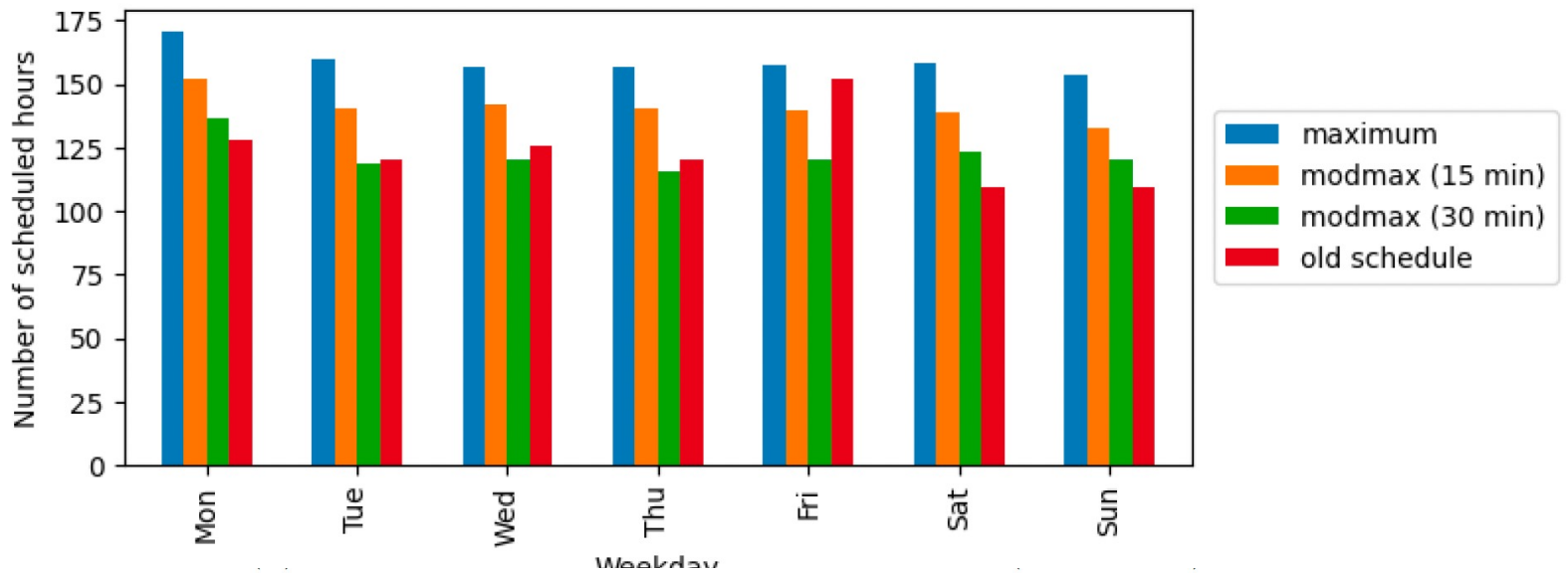
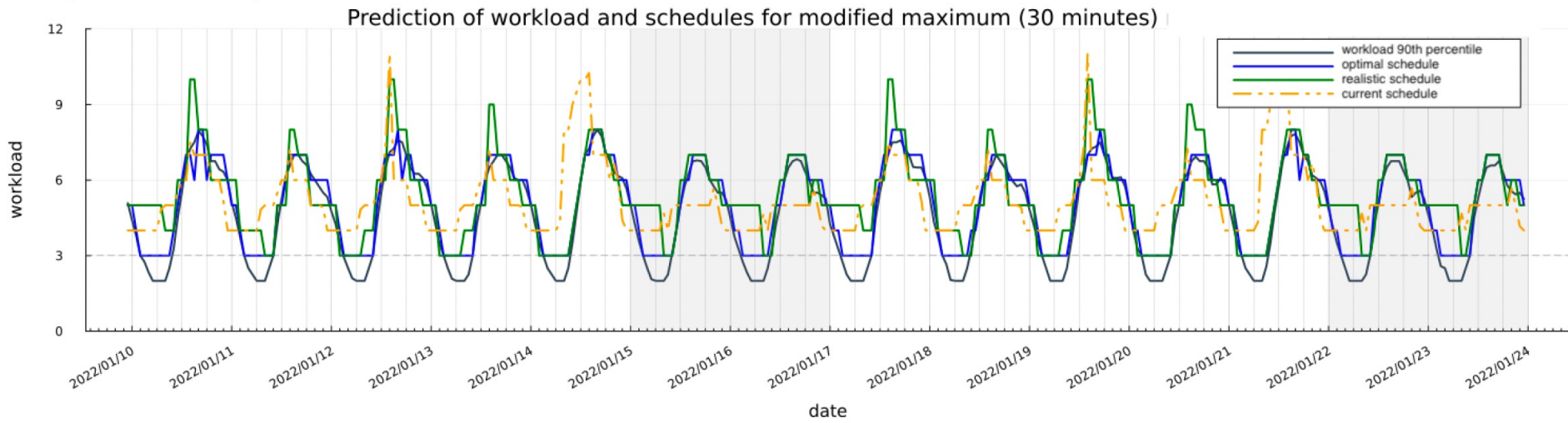
Analyse: optimalisatie van de roosters

- Doel:
 - Minimaliseer **tijd onderbezetting** (95% werklast)
 - En totaal aantal ingezette uren (met weegfactor)
- Rekening houden oa met:
 - Minimaal aantal aanwezige verpleegkundigen = 3 (oa spoed)
 - **Grens op onderbezetting**: minimaal 80% van zorgzwaarte bezet
 - Lengte van diensten: minimaal 7:30 uur, maximaal 12:10 uur
- Roosteren aantal verpleegkundigen, niet de individuen
- **Volledig** ingevulde diensten

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \sum_{t \in \mathcal{T}} x_t^u + \alpha \sum_{t \in \mathcal{T}} n_t \\
 \text{s.t.} \quad & n_t = \sum_{l \in \mathcal{L}} \sum_{s=\max(0, t-i+1)}^t y_{s,l} & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & 0.95w_t - n_t \leq Mx_t^u & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & n_t - 0.95w_t \leq M(1 - x_t^u) & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & (n_t - 1) - 0.95w_t \leq Mx_t^o & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & 0.95w_t - (n_t - 1) \leq M(1 - x_t^o) & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & x_t^u + x_t^e + x_t^o = 1 & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & z_{h,l} = \sum_{t \pmod{24}=h} y[t,l] & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{H} \\
 & z_{h,l}^{week} = \sum_{\substack{t \pmod{24}=h \\ 1 \leq \text{day}(t) \leq 4}} y_{t,l} & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & z_{h,l}^{Friday} = \sum_{\substack{t \pmod{24}=h \\ \text{day}(t)=5}} y_{t,l} & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & z_{h,l}^{weekend} = \sum_{\substack{t \pmod{24}=h \\ 6 \leq \text{day}(t) \leq 7}} y_{t,l} & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & n_t \geq 3 & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & n_t \geq 0.8w_t & \forall t \in \mathcal{T} \\
 & \sum_{h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L}} z_{h,l} \leq N & \forall h \in \{23, 1, 2, \dots, 7\}, l \in \mathcal{L} \\
 & z_{h,l} = 0 & \\
 & \sum_{h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L}} z_{h,l}^{week} \leq N_{week} & \\
 & \sum_{\substack{h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\ 0 \leq (h+l) \pmod{24} \leq 7}} z_{h,l} \leq 1 & \\
 & y_{t,l} \leq 2 & \forall t \in \mathcal{T}, l \in \mathcal{L}, 0 \leq (t+l) \pmod{24} \leq 7 \\
 & z_{h,l}^{week} = 0 & \forall h \in \mathcal{H}, l \geq 11 \\
 & z_{h,l}^{week} = 0 & \forall h \in 8, \dots, 15, l \geq 9 \\
 & z_{h,l}^{Friday} = 0 & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & \sum_{h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L}} z_{h,l}^{weekend} \leq N_{weekend} & \\
 & z_{h,l}^{weekend} = 0 & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & z_{h,l}^{weekend} = 0 & \\
 & \sum_{\text{week}(t)=w, 6 \leq \text{day}(t) \leq 7} y_{t,8} \leq m_{8,w} & \forall w \in \mathcal{W} \\
 & \sum_{\text{week}(t)=w, 6 \leq \text{day}(t) \leq 7} y_{t,12} \leq m_{12,w} & \forall w \in \mathcal{W} \\
 & y_{8,12} = 4 & \\
 & y_{10,12} = 1 & \\
 & n_t \in \mathbb{Z}^+, & \forall t \in \{1, 2, \dots, T\} \\
 & y_{t,l} \in \mathbb{N}, & \forall t \in \{1, 2, \dots, T\}, l \in \mathcal{L} \\
 & z_{h,l}^{week}, z_{h,l}^{Friday}, z_{h,l}^{weekend} \in \{0, 1\} & \forall h \in \mathcal{H}, l \in \mathcal{L} \\
 & x_t^u, x_t^e, x_t^o \in \{0, 1\} & \forall t \in \mathcal{T}
 \end{aligned}$$

- Nog wel wat extra wensen:
 - Niet teveel verschillende diensten
 - Niet starten tussen 23:00 en 7:00
 - Eisen op diensten gedurende weekdays
 - En op vrijdagen
 - En op weekenddagen
- De bepaalde werklast



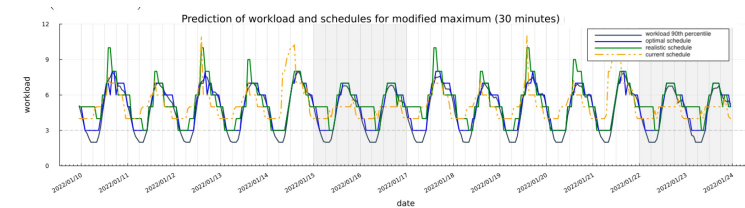
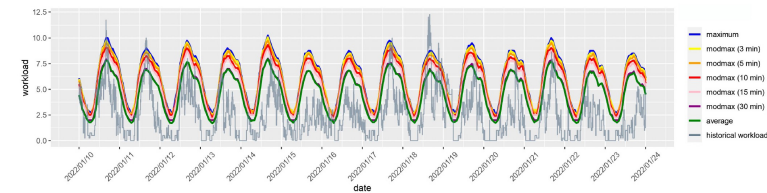


Analyse: optimale roosters

Schedule	# hours per week	% time understaffed
Current schedule	865	13.4
Maximum (realistic)	1115	3.60
Mod max (15 min) (realistic)	987	6.29
Mod max (30 min) (realistic)	857	10.6
Maximum (optimal)	1004	4.98
Mod max (15 min) (optimal)	910	7.41
Mod max (30 min) (optimal)	817	11.3

Discussie

- Roosters 12 – 24 weken vooruit (alleen statistiek patiënten bekend)
- Voorspelling werkdruk
- Optimale roosters
- Roosters volgens medische en arbeidsrechtelijke voorwaarden
- Substantiële reductie van onderbezetting (13.4 → 10.6 %)
- Toevoegen van dienst die eindigt in de nacht
- Draagvlak bij verpleegkundigen voor invoeren van de roosters



**We kunnen de zorg blijven leveren
op het huidige kwaliteitsniveau
met gelijkblijvende resources
door optimalisatie van logistiek
gebaseerd op slim gebruik van data**

