



Statens vegvesen

Densitetsmålinger

– utførelse og erfaring med ulikt utstyr

Einar Aasprong

Statens vegvesen

Sentrallaboratoriet Trondheim

Oslo 21.01.2016



Introduksjon

Sentrallaboratoriet Trondheim

- Spesialistfunksjonen for overbygning
- Overordnet metodeansvar
 - Asfalt (Einar Aasprong)
 - Bindemidler (Wenche Hovin)
 - Tilslag (Arnhild Ulvik)
 - Feltmetoder
- Utfører spesialanalyser, f.eks.
 - Analyser som krever større investeringer og opplæring
 - Analyser som utføres sjeldent



Introduksjon

Innhold

- Bakgrunnsmateriale
 - PROKAS del 3 (Avsluttet 2000)
 - Hålrumshalt hos asfaltborrkärnor (VTI i Sverige, 2013)
 - Kalibreringssamlinger, Statens vegvesen (2011 – 2015)
- Metoder; beskrivelse og erfaring
 - Hulrom V_m
 - Densitet på borprøver ρ_b : (bulk) tidl. ρ_d
 - Maksimumsdensitet i lab ρ_m : (maks.) tidl. ρ_s
 - Måling av densitet i felt ρ_b
- Kalibreringssamling – 2015



Densitetsmålinger Hulrom (NS-EN 12697-8)

4 Bestemmelse av innholdet av luftfylte hulrom (V_m)

4.1 Prinsipp

Innholdet av luftfylte hulrom i et bituminøst prøvelegeme beregnes ved å bruke den maksimale densiteten av massen og romdensiteten av prøvelegemet.

4.2 Beregning

Innholdet av luftfylte hulrom skal beregnes til nærmeste 0,1 % (v/v) som følger:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100 \text{ \% (v/v)} \quad (1)$$

der

V_m er innholdet av luftfylte hulrom i massen i 0,1 prosent (v/v);

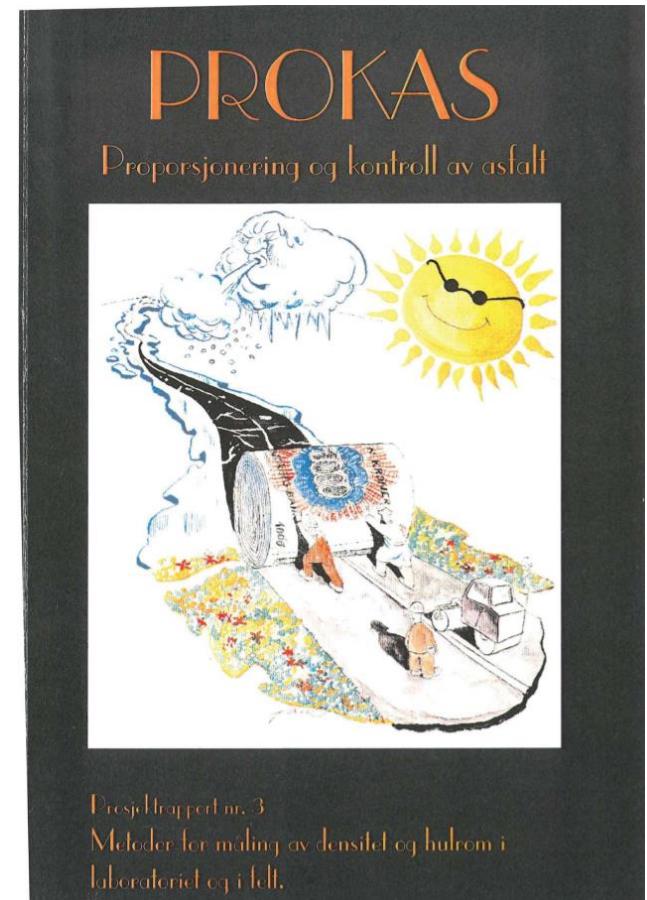
ρ_m er den maksimale densiteten av massen i kilo per kubikkmeter (kg/m^3);

ρ_b er romdensiteten av prøvelegemet i kilo per kubikkmeter (kg/m^3).

Bakgrunn

Prokas del 3 – Densitet og hulrom

- Avsluttet sommeren 2000
- Studerte bestemmelse av
 - Densitet på borprøver
 - Måling av densitet i felt
 - Maksumdensitet i lab
- Målsetting
 - Utrede ulike metoder
 - Anbefale beste metoder
- Hulromsgruppa
 - Ragnar Brakstad
 - Mona Teigen
 - Roar Telle
 - Eivind Olav Andersen
- Gjerulf Smeland
- Jørn Svendsen
- Olav E. Ruud





Bakgrunn

Hålrumshalt hos asfaltborrkärnor

- Avsluttet sommeren 2013
- Studerte bestemmelse av
 - Densitet på borprøver (ρ_b)
 - Vannabsorpsjon (W_{ab})
- Oppdrag fra det svenska trafikkverket

VTI notat 14-2013
Utgivningsår 2013

www.vti.se/publikationer

Hålrumshalt hos asfaltborrkärnor
Utvärdering av provningsmetoder för
bestämning av skrymdensitet

Leif Viman
Henrik Broms

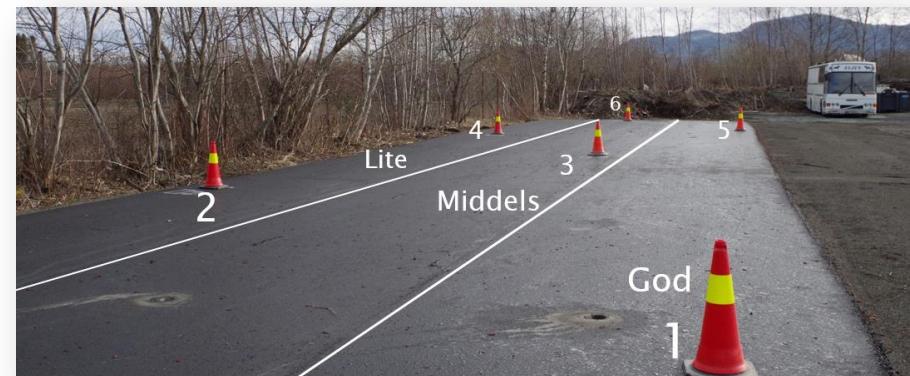
[VTI notat 14-2013](#)

www.vti.se/publikationer
Utgivningsår 2013

Bakgrunn

Densitetsmålere Statens vegvesen

- Årlige samlinger
 - 2011 i Region sør
 - Fra 2013, årlig for alle regioner
- Måling av
 - Densitet i felt (ρ_b)
- Målsetting
 - Sikre kunnskap om bruk
 - Kontrollere densitetsmålere før sesong
 - Skaffe erfaringsgrunnlag



Metoder

NS-EN12697-6, «Romdensitet» ρ_b

- Prosedyrer

- | | | |
|---------------------|---------------|-------------------------|
| – A : Våt/tørr | ρ_{bdry} | (dry) |
| – B : Overflatetørr | ρ_{bssd} | (saturated surface dry) |
| – C : Forsegling | ρ_{bsea} | (sealing) |
| – D : Måling | ρ_{bdim} | (dimensions) |



$$\rho = m / V$$

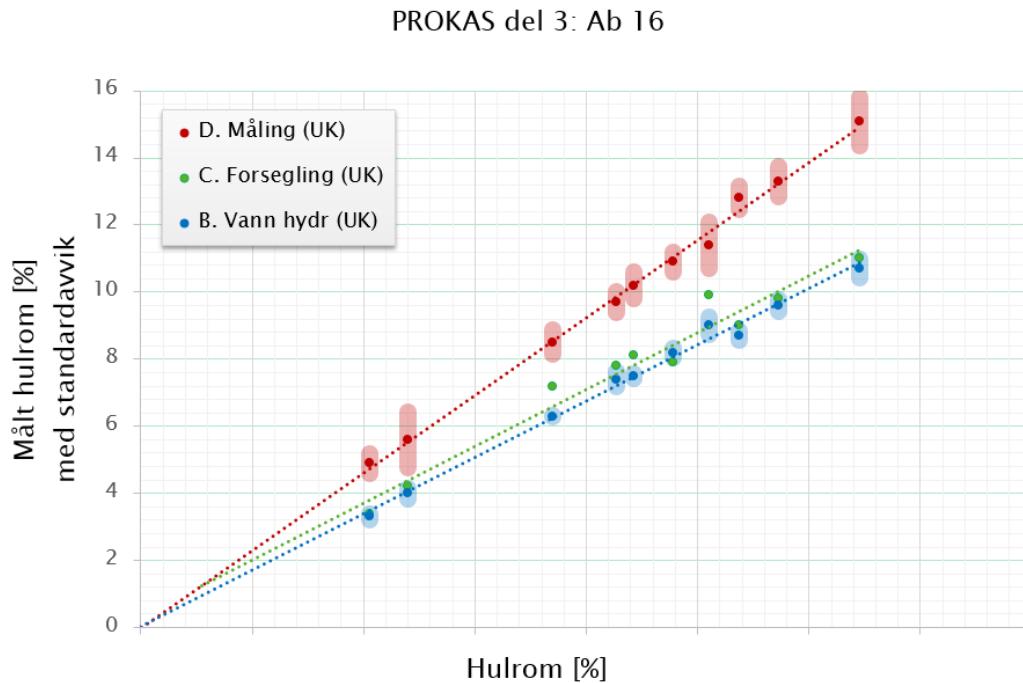
- Massen (m) finnes alltid fra tørr prøve
- Forskjellen i metodene er beregning av volum (V)

$$\rho_{bdim} = m / V_{måling}$$



Metoder

Romdensitet – erfaringer



UK står for UKappet topp

Metode B (ρ_{bssd})

PROKAS anbefaler metoden

- Lavt standardavvik
- Tilnærmet lik «fasiten», metode C (ρ_{bsea})
- Enklere å utføre enn C

Reproduserbar til $V_m > 10\%$

- PROKAS
- Ringanalyser

Usikkerheten øker med V_m

- NS-EN anbefaler metoden opp til $V_m = 4 - 5\%$
- VTI_{Sverige} anbefaler bruk kun for vannabsorbsjon (W_{ab}) < 2 %



Metoder

Romdensitet – erfaringer

Metode C (ρ_{bsea}) : Variant med vakuumpakking

Plastfoliemetoden med vakuum

Plastfoliemetoden med vakuum bör kunna ersätta paraffinmetoden som referensmetod för bestämning av hålrumshalt hos borrkärnor. En viss justering av Trafikverkets nuvarande kravvärden blir dock nödvändig, eftersom plastfoliemetoden med vakuum ger något större hålrumshaltsvärden än paraffinmetoden.

Nedan följer några förslag på ytterligare undersökningar av plastfoliemetoden med vakuum:

- Val av lämplig vakuumförpackare – utvärdering av vakuumprestanda;
- Val av lämplig plastpåse - utvärdering av plastmaterialets egenskaper såsom folietjocklek, krypning, punkteringsmotstånd och temperaturkänslighet;
- Dessa studier bör kunna ske på provkroppar av aluminium (densitet $2,7 \text{ Mg/m}^3$) med väldefinierad rätcylindrisk yttre form och olika ytstruktur;
- Kartläggning av den valda plastfoliemetodens överensstämmelse med paraffinmetoden för eventuell justering av nuvarande kravvärden, baserade på paraffinmetoden;
- Ringanalys för utvärdering av metodens precision (repeterbarhet och reproducerbarhet).

VTI (Sverige) sine anbefalinger for videre utredning av metoden.



Metoder

NS-EN 12697-5 «Maksimumsdensitet» ρ_m

- Prosedyrer
 - A : Volumetrisk ρ_{mv} (volumetric)
 - Stålpyknometer og løsemiddel
 - Stålpyknometer og vann
 - B : Hydrostatisk ρ_{mh} (hydrostatic)
 - C : Matematisk ρ_{mc} (calculation)
 - Tilsiktet densitet i resept
 - Ekstraksjonsanalyse og beregning
 - Forbrenningsovn og beregning



Metoder

Maksimumsdensitet (ρ_{mv}) – historikk

- Stålpyknometer og vann (ρ_{mv})
 - Ubestridt førstevalg?
- PROKAS (om metoden)
 - «Det finnes alternative metoder ... hvor man unngår bruk av løsemidler.»
 - «Metoden har aldri vært benyttet i stort omfang i Norge og er heller ikke beskrevet i Hb014 (Anm: R210)»
 - Etter utprøving konkluderes det med at metoden «kan med fordel tas i bruk i Norge»
- Status
 - Noe skepsis blant nye brukere, men avtagende?
 - Erfarer sjeldent betydelige avvik som ikke kan forklares?



Metoder

Stålpyknometer og vann (ρ_{mv}) – erfaringer

- Robust metode – «Kan fungere greit» :
 - med noe temperaturvariasjon
 - med noe bindemiddeltap (bindemiddel er lett, men mørtel tyngre – og det er gjerne mørtel man mister)
 - med beskjeden risting / banking
 - uten bruk av såpe
 - med mindre oppsmuldring en kravet i standard
 - med ulikt undertrykk, bare det er lavt nok
- Forhold som er erfart kritiske
 - For dårlig vakuum
 - For dårlig oppsmuldring
 - For dårlig fordeling (eller røring) av prøven i pyknometer



Metoder

Feltmålinger – prinsipper

- Seaman og Troxler
 - Radioaktive kilder
 - Backscattering
 - Kalibrering (4 variable mellom registrert stråling og densitet)
- Seaman
 - Kompenserer for underliggende lag basert på infarmsjon som legges inn
- Troxler (tynnsjiktsmålere)
 - 2 ulikt plasserte mottakere
 - Mottar ulik mengde stråling tilbake fra ulike dybder
 - Beregner tetthet for ønsket dybde
- PQI
 - Elektromagnetisk felt og måling av impedans



Metoder

Feltmålinger – PROKAS

- PROKAS – tilnærming
 - Fant først korrekt laboratorieverdi for ρ_b
 - Valgte kjerneprøve, kappet topp
 - Benyttet analyse med voks som fasit (ρ_{bsea})
 - Fant mer praktisk metode som matchet denne (ρ_{bssd})
 - Foretok feltmålinger med densitetsmålere opp mot ρ_{bssd}
 - Benyttet ulike teknikker
 - måling uten filler, med filler, med slurry
 - måling til forskjellige dybder
- Konklusjon
 - Troxler ga best resultat med slurry
 - Seaman ga best resultater med filler
 - Korrekjoner (sand-patch, m/u filler, mot borkjerner) forbedret resultatene vesentlig



Metoder

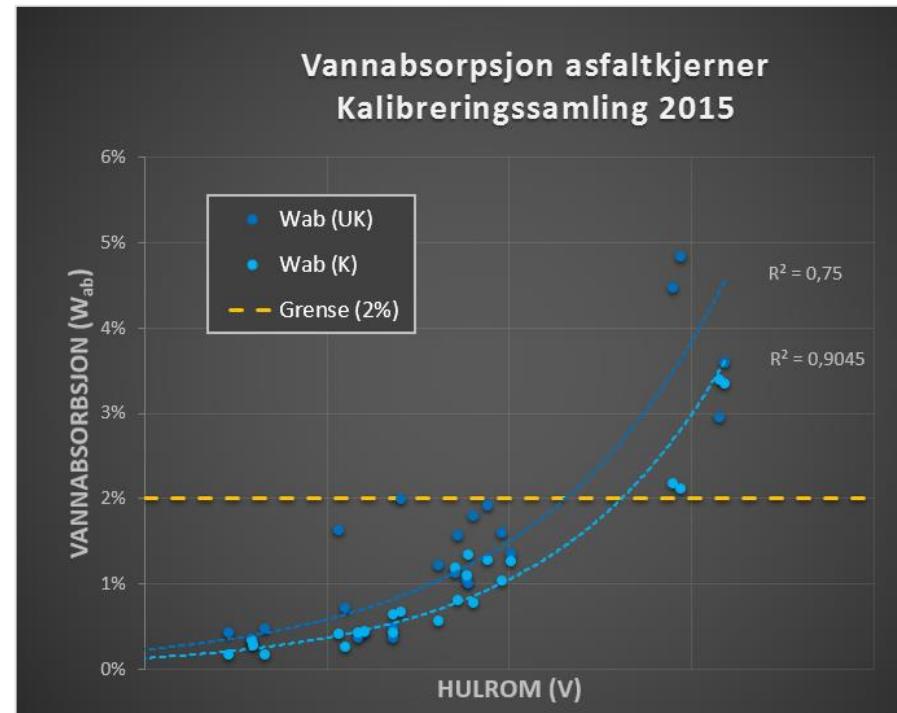
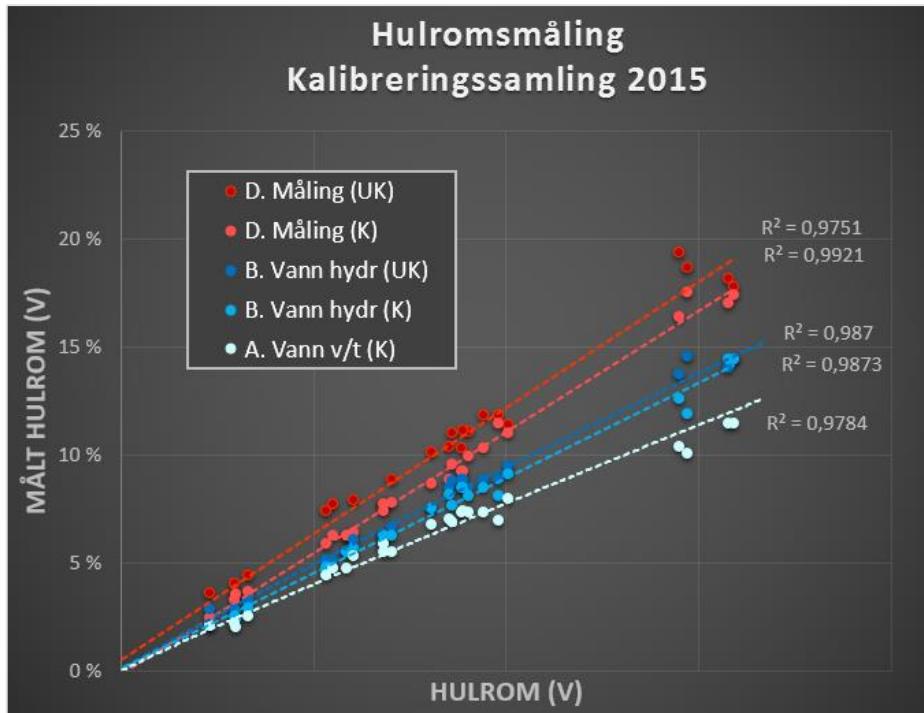
Feltmålinger – Kalibreringssamling 2015

- Regresjon
 - av 19 densitetsmålere
 - 2 x PQI 380
 - 1 x Troxler 3450
 - 7 x Troxler 4640 B
 - 9 x Seaman 300
 - mot 2 prøveprepareringer og 4 metoder
 - kappet og ukappet topp (K, UK)
 - metoder A (ρ_{bdry}), B (ρ_{bssd}), C (ρ_{bsea}), D (ρ_{bdim})
- Kombinasjonen C(K) ble dessverre ikke utført som tilskiktet
- For hver kombinasjon $19 \times 7 = 133$ ble stigningstall (a) og regresjonskoeffisient (R^2) bestemt



Kalibreringssamling 2015

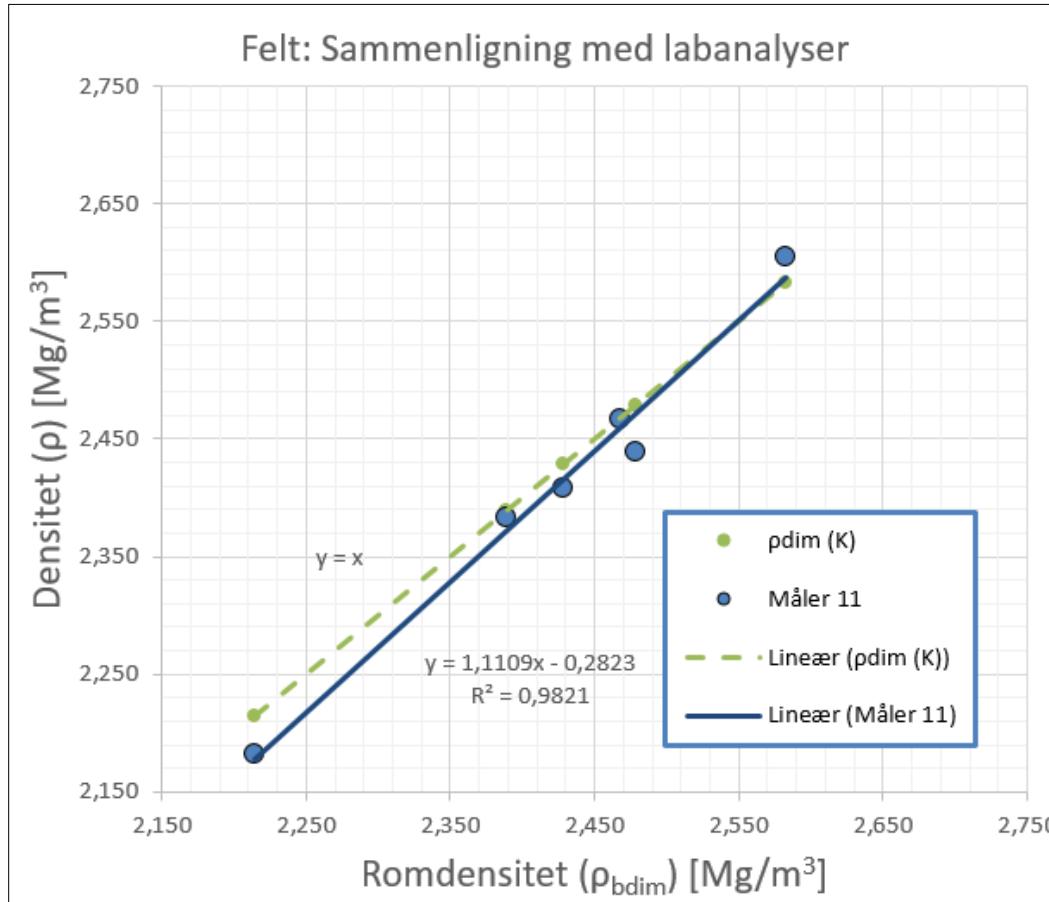
Laboratorieanalyser



Sammenligning (ρ_b) og (W_{ab}) for ulike varianter:
K = Kappet toppflate. UK = UKappet.

Metoder

Feltmålinger – Kalibreringssamling 2015



Eksempel (Seaman)

- Måler 11
- Metode D (ρ_{bdim})
- Kappet topp (K)

Beregninger

- Stigningstall
 $a = 1,1109$
- Avvik i stigning
 $|1-a| = 0,1109$
 $= 11,09 \%$
- Regresjonskoeffisient
 $R^2 = 0,9821$



Metoder

Feltmålinger – Kalibreringssamling 2015

- 4 Målere ble av ulike grunner utelatt
- For hver metode ble det beregnet gjennomsnitt for 15 målere av
 - Avvik i stigningstall $|1-a|$
 - Regresjonskoeffisient R^2
- Tabellen under er sortert på synkende R^2

Metode	$ 1-a $	R^2
D ρ_{bdim} (K)	16 %	0,969
B ρ_{bssd} (K)	21 %	0,963
D ρ_{bdim} (UK)	17 %	0,961
B ρ_{bssd} (UK)	19 %	0,961
A ρ_{bdry} (K)	48 %	0,945
A ρ_{bdry} (UK)	54 %	0,924
C ρ_{bsea} (UK)	15 %	0,913

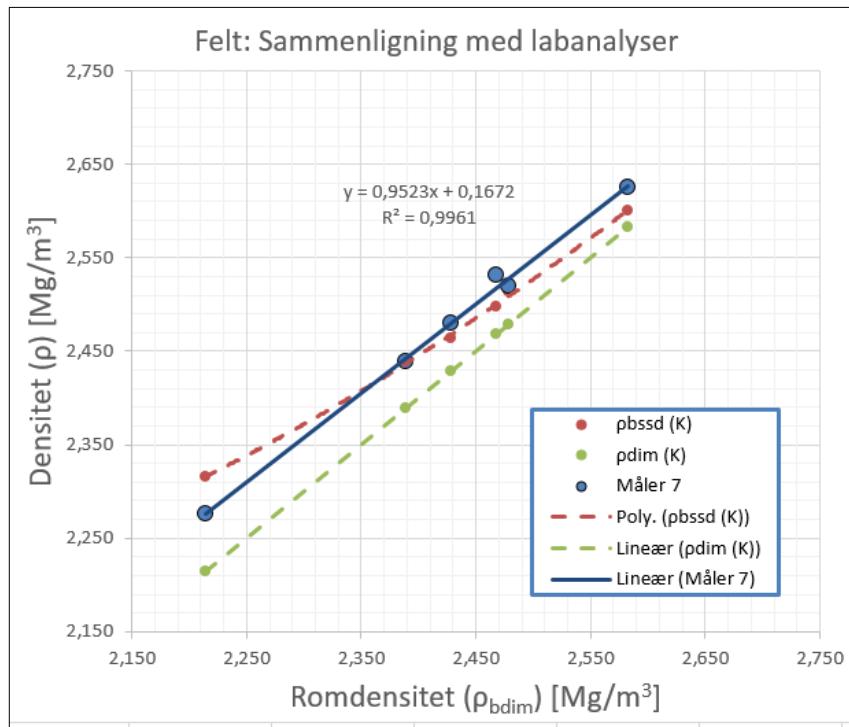
Konklusjon (for disse dataene)

- Metode B og D gir like god korrelasjon med feltmålinger
- Kappet eller Ukappet toppflate gir like god korrelasjon med feltmålinger
- Tallene til venstre sier ikke noe om avvik mellom faktisk målte verdier! (se neste side)

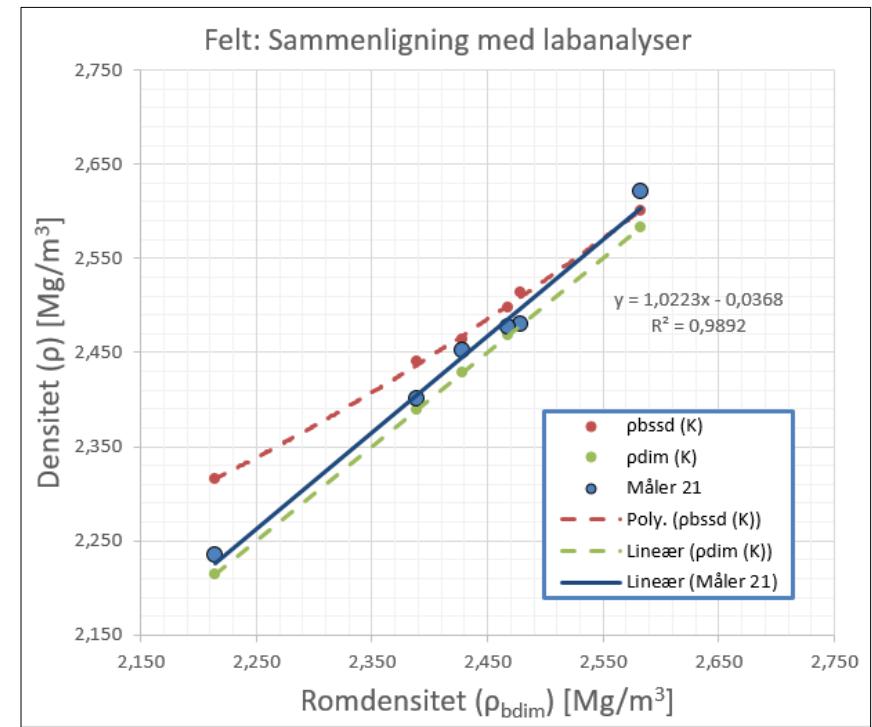
Metoder

Feltmålinger – Kalibreringssamling 2015

- Eksempler



Seaman 300

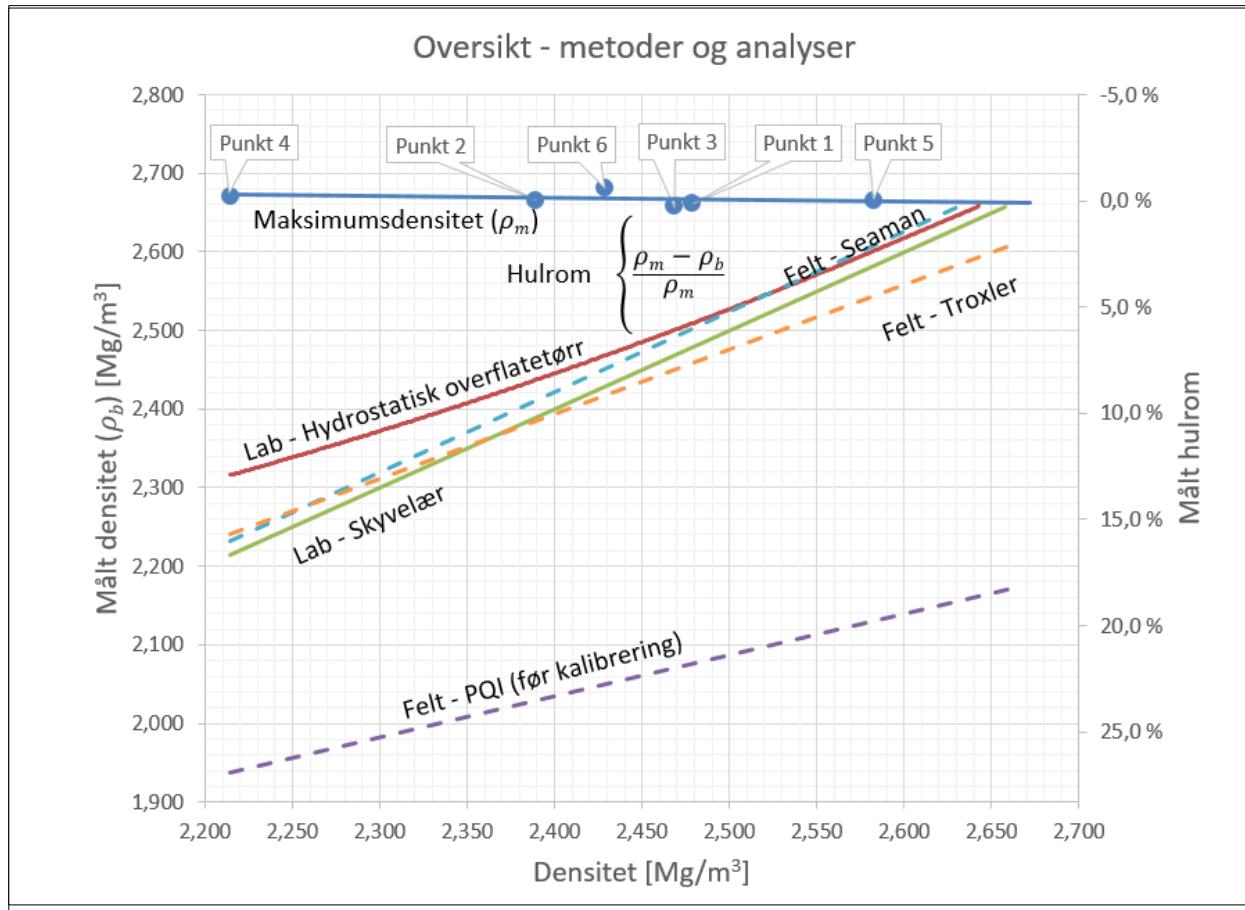


Troxler 4640 B



Kalibreringssamling 2015

Feltmålinger – oversikt

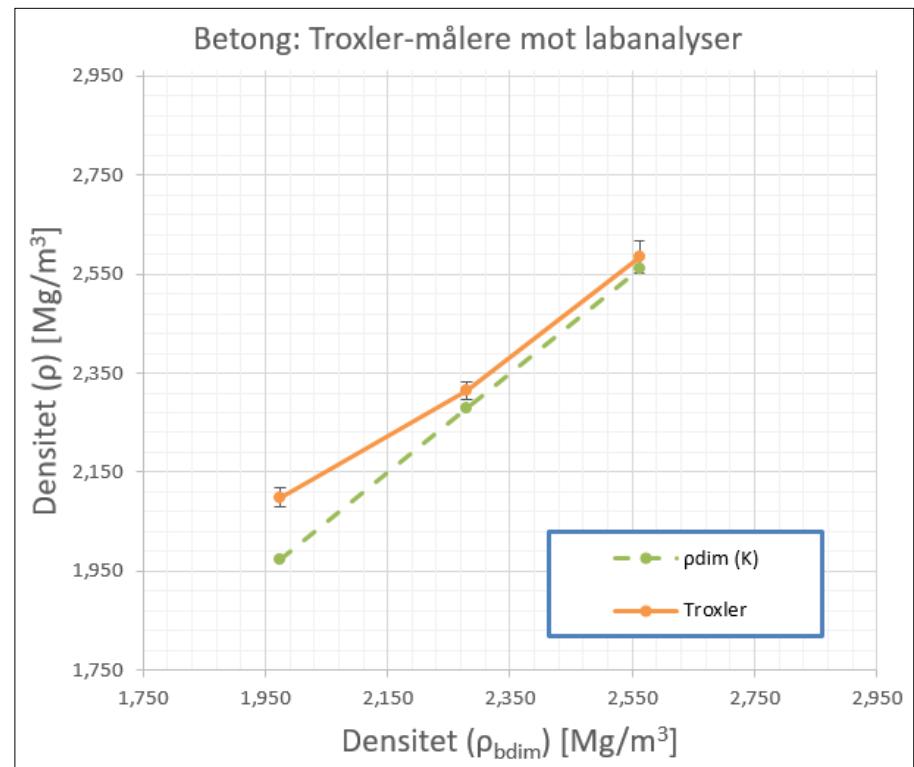
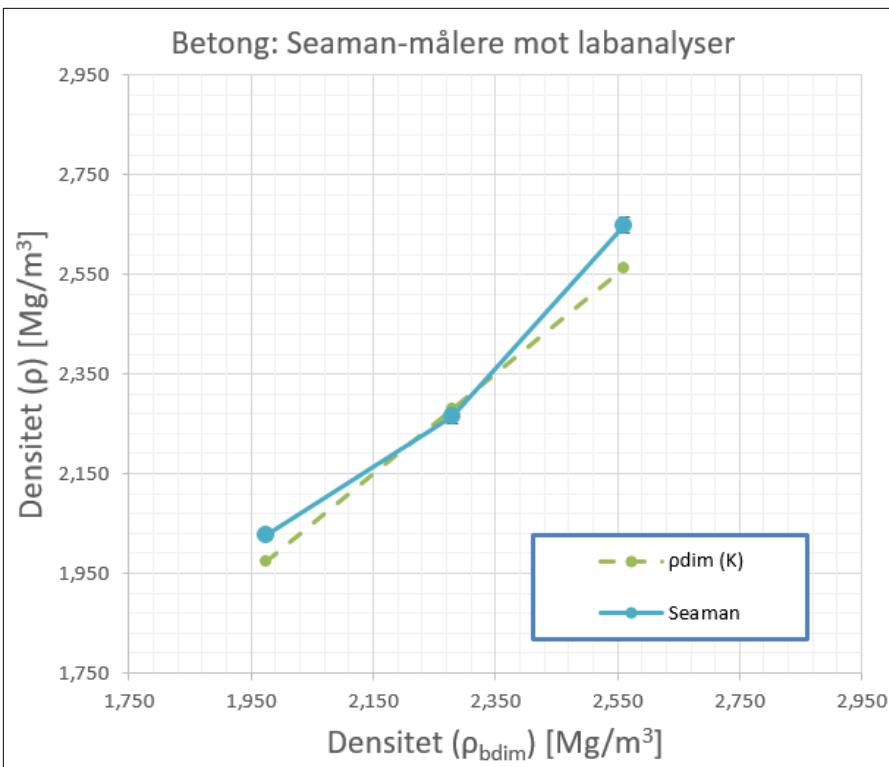




Kalibreringssamling 2015

Feltmålinger – Måling på betongklosser

- Snitt av alle målere av samme modell med standardavvik





Kalibreringssamling 2015

Feltmålinger – PQI 380

