

Invitasjon til
NADim-seminar

Dimensjoneringsgruppen

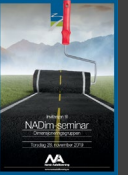
Torsdag 28. november 2019

NA
Norsk Asfaltforening
www.norskasfaltforening.no

Beregning av bæreevne på Flyplass PCN - verdi

av

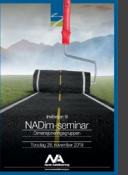
Hans Christian Korsgaard
Sweco Danmark A/S



Outline

- ACN – PCN Systemet
- Teorien bag ACN – PCN Systemet
- Beregningsgrundlag
- Eksempel fra Sandnessjøen Flyplass
- Sammendrag





ACN – PCN system:

PCN: "Pavement Classification Number"

ACN: "Aircraft Classification Number"

ICAO Rule:

$PCN > ACN$

Unrestricted usage of Aircrafts with an ACN lower than or equal to the PCN value of the pavement





Single wheel loads of selected heavy aircraft types:

BOEING 737-200	- 131 kN / 13.4 t	Dual Gear
AIRBUS A330-300	- 271 kN / 27.7 t	Dual Tandem Gear
BOEING 777-300ER	- 273 kN / 28.0 t	Dual Tridem Gear
BOEING 787-900	- 297 kN / 30.3 t	Dual Tandem Gear
AIRBUS A350-900	- 326 kN / 33.3 t	Dual Tandem Gear





Eksempel fra Sandnessjøen Lufthavn, Runway 02 -20

PCN verdi: 36 F/B/X/T (rapporteres til ICAO)

- F : Flexible (Asfalt belægning)
- B : Underbund type B (CBR 10%)
- X : Dæktryk < 1,75 MPa
- T : Teknisk bestemt

B 737-200

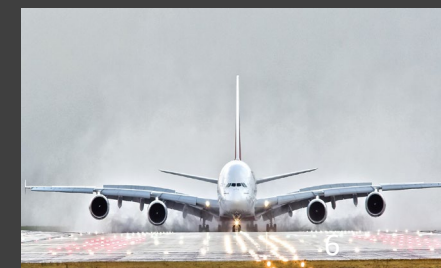
ACN verdi : 32 fuldt lastet, Underbund type B
15 tomt lastet, Underbund type B





PCN verdi: 36 F/B/X/T

- Talverdi: Verdien af den belastning (ACN) belægningen kan klare ved 10.000 passager
- Bogstavkode: Belægning / Underbund / Dæktryk / Design metode
 - Belægning, F, R: Flexible (Asfalt belægning), Rigid (beton belægninger)
 - Underbund, A, B, C, D: Type A (CBR 15%), B (CBR 10%), C (CBR 6%), D (CBR 3%)
 - Dæktryk, W, X, Y, Z: W: No limit, X: <1,75 MPa, Y: <1,25 MPa, Z: < 0,5 MPa
 - Design metode T, U: T: Teknisk bestemt, U: Erfaringsmæssigt bestemt

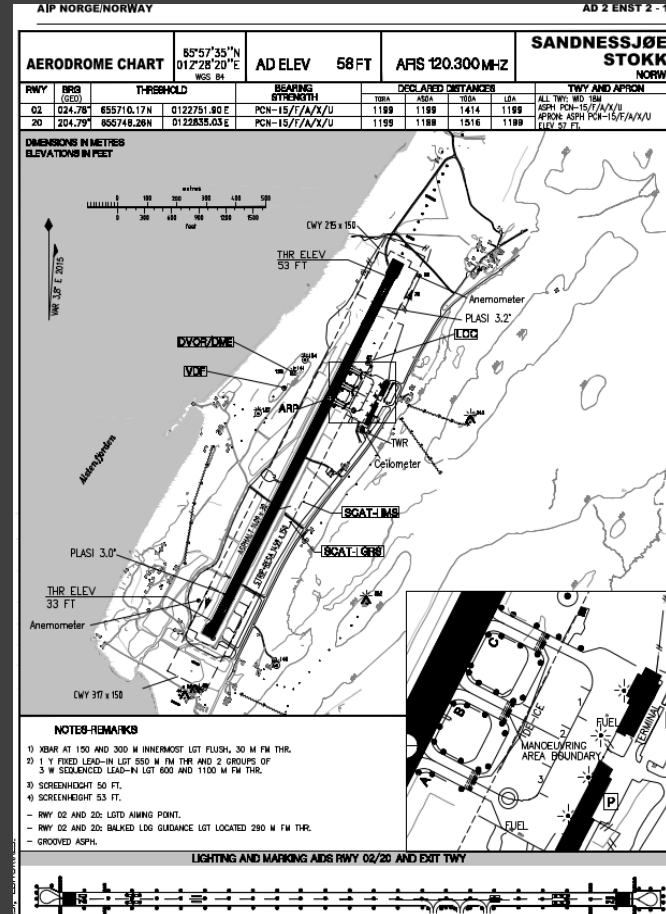




ICAO's AIP Sandnessjøen Flyplass

Den har piloter og
 alle andre adgang til

Her står (gult) Runway's,
 Taxiway's og Apron's
 PCN værdier



RWY	BRG (GEO)	THRESHOLD		BEARING STRENGTH	DECLARED DISTANCES				TWY AND APRON
		WSS 04	NORWAY		TORA	ASDA	TODA	LOA	
02	024.78°	655710.17N	0122751.90 E	PCN-15/F/A/X/U	1199	1199	1414	1199	ALL TWY: WD 18M ASPH PCN-15/F/A/X/U APRON: ASPH PCN-15/F/A/X/U ELEV 57 FT.
20	204.79°	655748.26N	0122835.03 E	PCN-15/F/A/X/U	1199	1199	1516	1199	

I AIP'en står:

RWY 02 - 20:

PCN - 15 F/A/X/U

Hvilket for Runway
 ifølge de nye målinger
 vil blive ændret til

PCN - 36 F/B/X/T

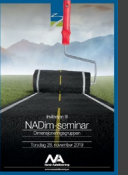


ACN værdierne bestemmes af Fly-producenterne og skal rapporteres til ICAO

Aircraft	Weight Max/Min [kN]	Load on one main gear [%]	Tire Pressure [MPa]	Flexible Pavement Subgrades CBR [%]				Rigid Pavement Subgrades k [MPa/m]			
				High	Medium	Low	V.Low	High	Medium	Low	V.Low
				A	B	C	D	A	B	C	D
B737-200, 200C, Advanced	572 300	46.4	1.26	31 15	32 15	37 16	41 19	35 17	37 18	39 19	41 20
B777-200 X	3278 1600		1.38	78 29	90 32	114 38	148 53	61 27	80 27	104 34	126 43

WEIGHT VARIANT	ALL UP MASS (kg)	LOAD ON ONE MAIN GEAR LEG (%)	TIRE PRESSUR (MPa)	ACN FOR RIGID PAVEMENT SUBGRADES - MN/m ²				ACN FOR FLEXIBLE PAVEMENT SUBGRADES - CBR			
				HIGH 150	MEDIUM 80	LOW 40	ULTRA -LOW 20	HIGH 15	MEDIUM 10	LOW 6	ULTRA -LOW 3
A350-900	278 900	46.9	1.71	66	74	86	100	69	73	83	115
WV016	140 000	46.9		32	33	36	40	30	31	33	40





PCN verdi'en bestemmes typisk ved måling af bæreevnen.

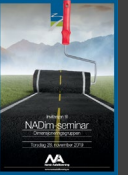
Bæreevнемålingerne foretages typisk med et faldlod:

- HWD (Heavy Weight Deflectometer) 250 kN (~25 t)
- SHWD (Super Heavy Weight Deflectometer) 350 kN (~35 t)

Der skal bestemmes:

- En PCN talverdi
- En PCN Underbunds kategori , Type A, B, C eller D



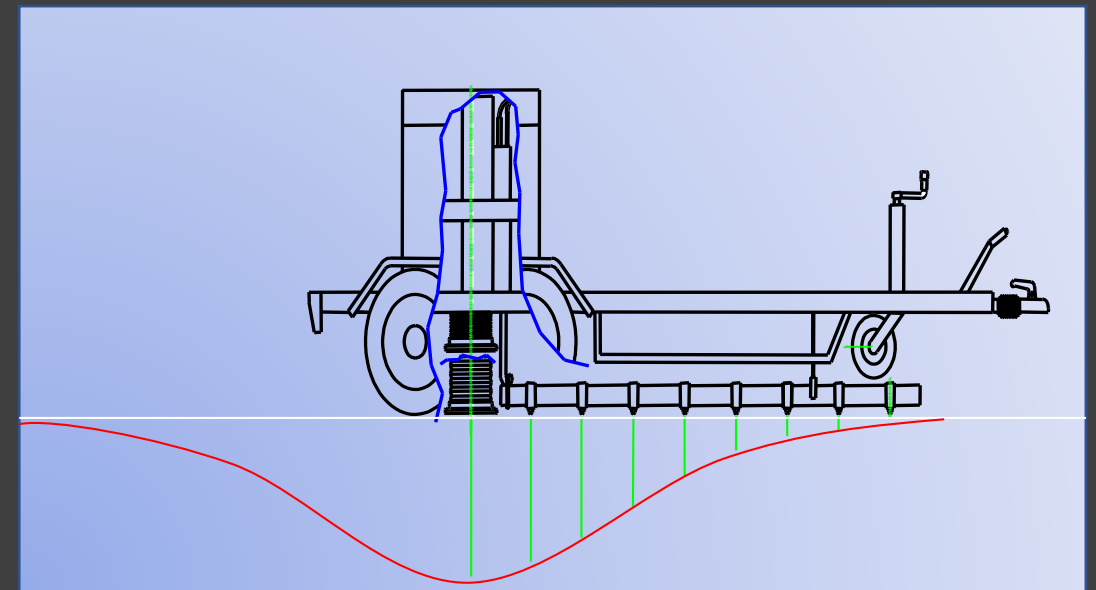


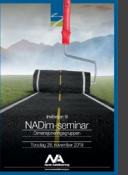
Hvad får man ud af målingerne med faldlod:

- Belastningen på pladen målt med kraftcelle
- Deflektionen under belastningspladen målt med en geofon
- Deflektionerne i forskellige afstande fra belastningspladen (defleksionsbassin)

Beregninger med back-calculation software baseret på Lineær elastisk teori

- E-modulerne af lagene i befæstelsen (E_1, E_2, E_3, E_m)
- når lagtykkelserne (h_1, h_2, h_3) af lagene kendes.



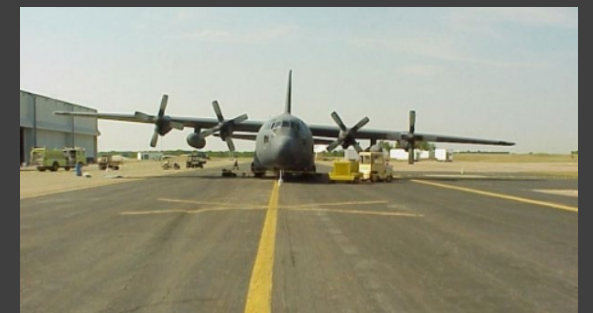


CBR-verdien for underbunden bestemmes på grundlag af følgende udtryk givet af FAA (Federal Aviation Administration) :

$$\text{CBR} = E_m / 10 (\%)$$

Underbundens kategori kan herefter fastlægges:

- ❖ A: CBR > 13 %
- ❖ B: CBR 8 – 13 %
- ❖ C: CBR 4 – 8 %
- ❖ D: CBR < 4 %

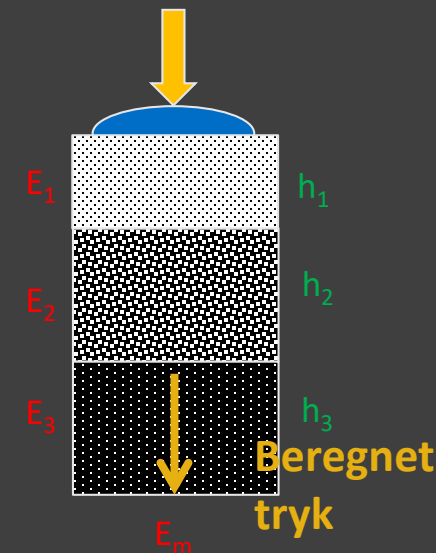




Så mangler bare PCN's talverdi.

Med Lagenes E-verdier og lagenes høyder, h , kan trykket på underbunden beregnes med lineært elastiske design programmer.

Men hvad er den kritisk tilladelig spænding (σ_z) på underbunden for PCN beregninger?





Tilbake til utgangspunktet for utviklingen af ACN – PCN metoden:
"Aerodrome Design Manual – Part 3", ICAO 1983.

$$t = \sqrt{\frac{DSWL}{C_1 \times CBR} - \frac{DSWL}{C_2 \times p_s}}$$

$$PCN = 2 \times DSWL \quad (\text{Derived Single Wheel Load i tons})$$

t : Belægningens reference tykkelse (cm)

C_1 : 0,5695

C_2 : 32,035

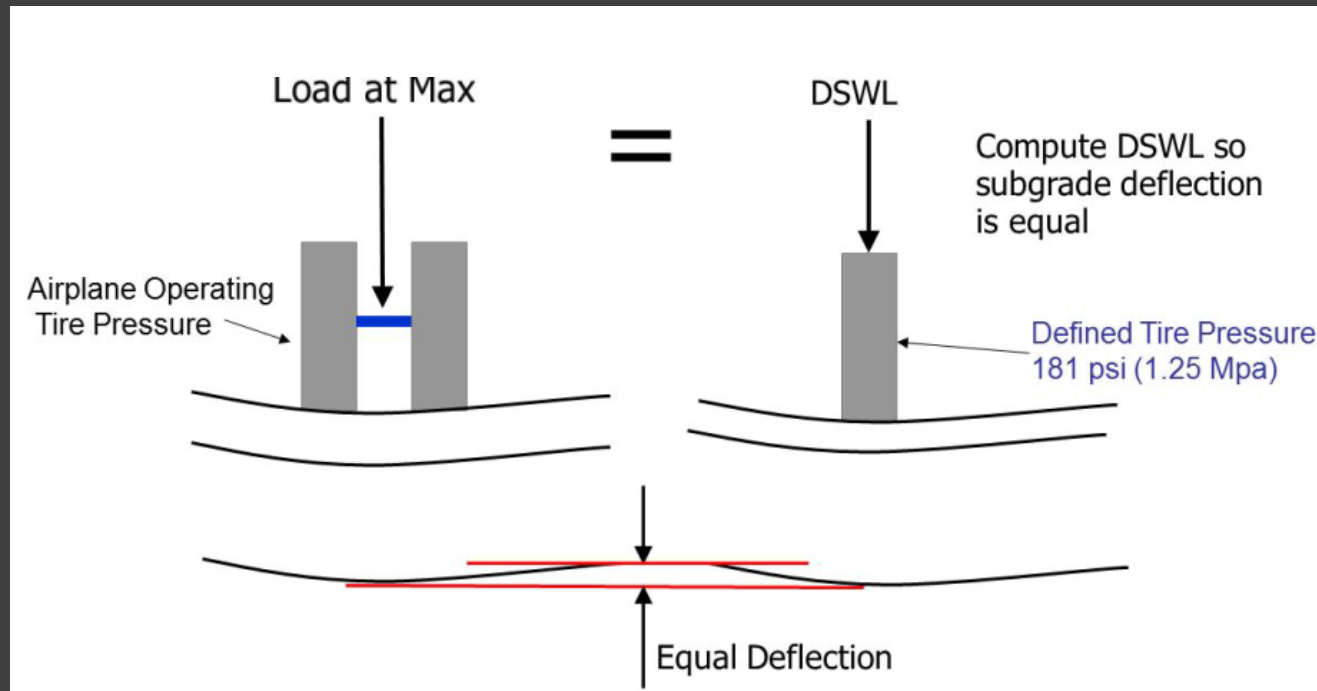
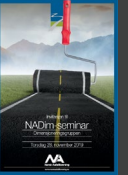
P_s : 1,25 (DSWL's Kontakttryk) (MPa)

CBR : CBR-verdien i percent

Passager: 10.000 Passager



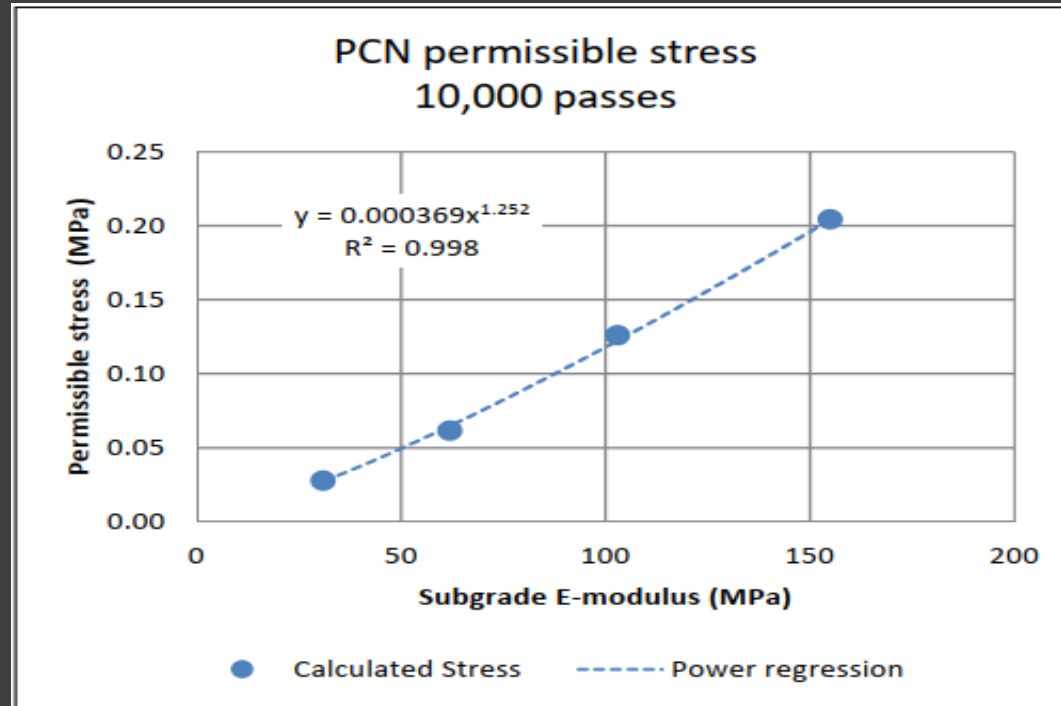
Hvordan så beregne belægningens referenttykkelse "t"?





Ved hjelp af FAA's design-værktøj,
FAARFIELD, kan kritiske
belægningstykkelser beregnes for fly
med forskjellige ACN-verdier:

FAARFIELD	
10.16 cm (4.00 in)	P-401 / P-403 HMA Surface E = 1378.95 MPa
12.70 cm (5.00 in)	P-401 / P-403 St (flex) E = 2757.90 MPa
Variable thickness	P-209 CrAg (<u>Design layer</u>)
	Subgrade E = variable

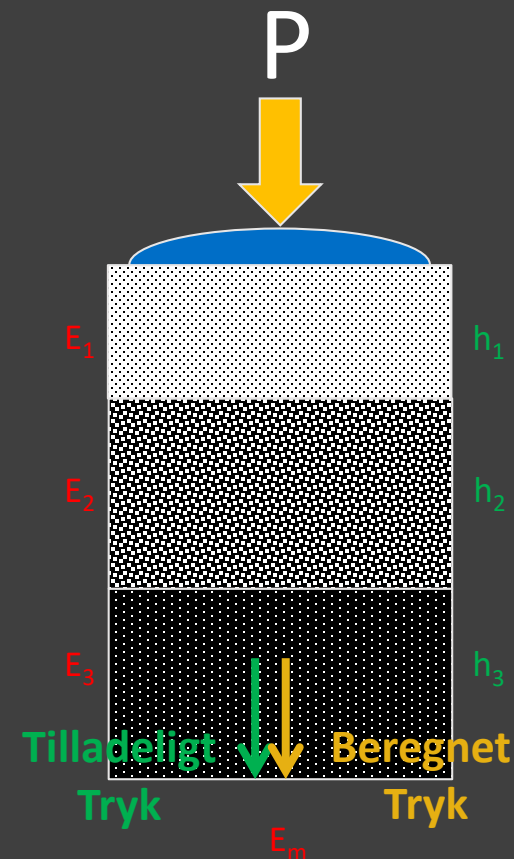




Nu kan PCN's tal-verdi bestemmes

- Belastningen P på belægningens overflade øges
- Kontakt-trykket på belægningens overflade fastholdes på 1,25 MPa
- P øges indtil det beregnede tryk på underbunden, E_m , er lig med det tilladelige tryk
- P er da lig med DSWL

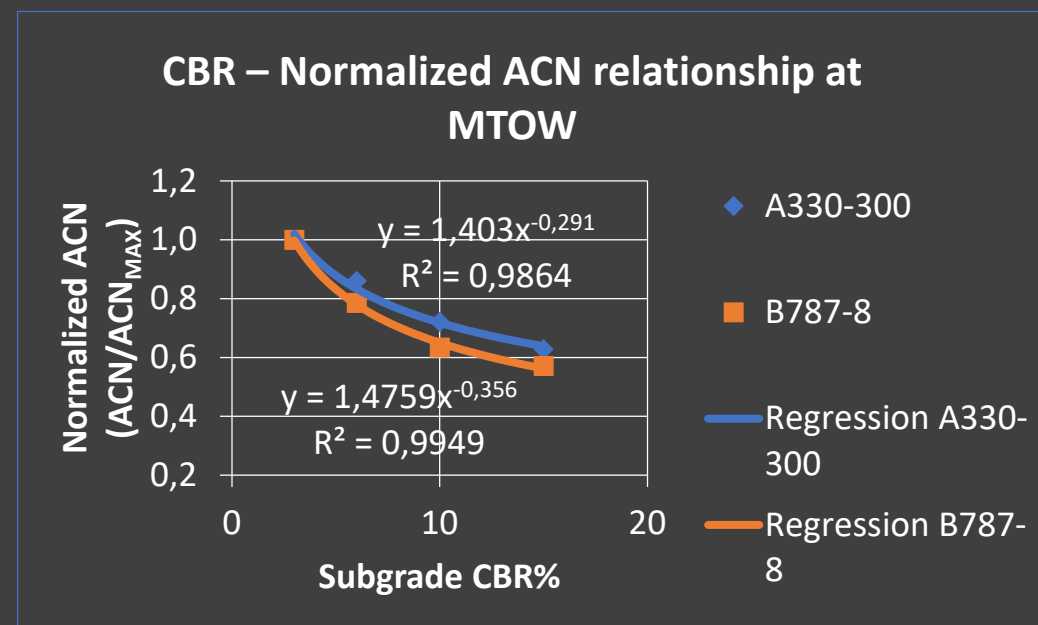
PCN er lig med $2 \times$ DSWL





Harmonisering

- Underbunden kan være forskjellig under den samme belægningsenhet.
- En Runway kan sagtens have forskjellige typer underbund i hele dens længde.
- PCN-verdiene i de forskjellige målepunkter skal således harmoniseres.
- PCN-verdier med én type underbund skal således ændres til en PCN-verdi med den valgte type underbund.
- Harmoniseringen foretages med algoritmer som bla. Ses af nedenstående figur.



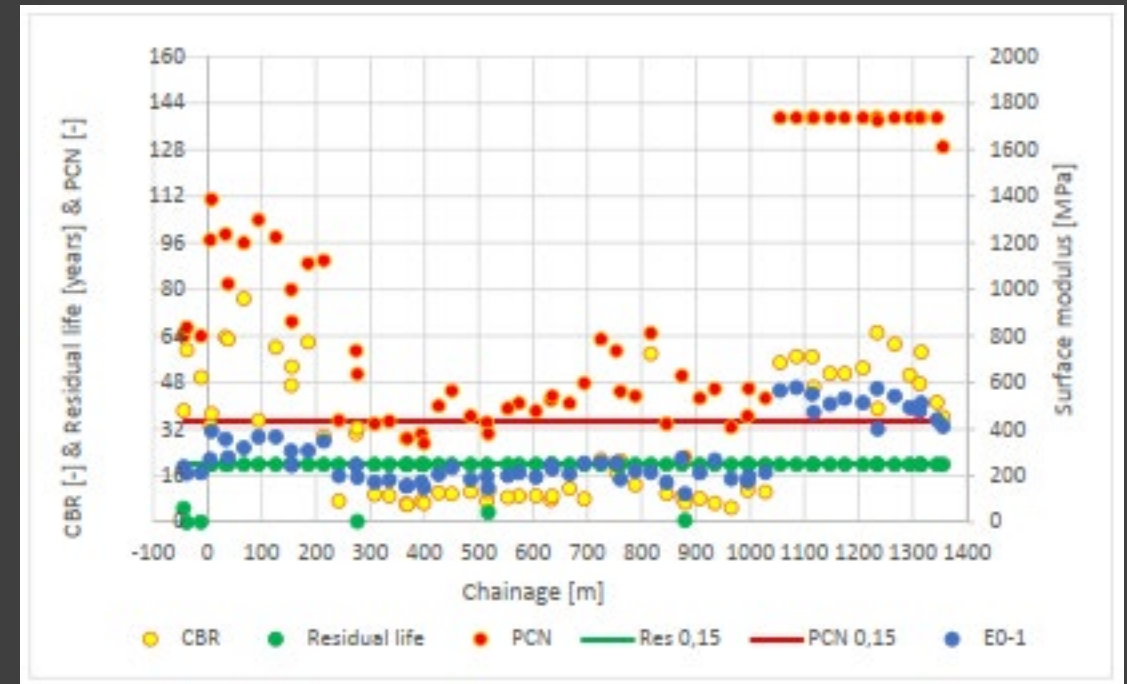


Runway 02-20 på Sandnessjøen Flyplass

Beregninger af Faldlodsmålinger i målepunkterne på Runway 02-20:

- PCN verdier (røde)
- CBR-verdier (gule)
- Levetid (grøn)
- E0 (Overflademodulet) (blå)

Der er stor forskel på midterdelen (den gamle belægning) og runway's ender som er nyere.





Faldlodsmålinger på Apron (forpladsen), Sandnessjøen Flyplass

- Her ses forskjellig underbund der varierer mellom type A, B og C. [4.sidste søjle fra høyre (Subgrade)]
- PCN verdierne i de forskjellige målepunkter fremgår af 3. sidste søjle fra højre.
- De harmoniserede PCN verdier fremgår af den sidste søjle for den valgte type underbund, her type "C".

Items in table	13 of 91	Percentile	0,15	PCN	37	CBR	6	E ₀	171	Residual Life	17
----------------	----------	------------	------	-----	----	-----	---	----------------	-----	---------------	----

Area	Lane	Chainage	Sigma	Force	d1	h1	h2	h3	Bedrock	E1	E2	E3	E4	E ₀	CBR	Subgrade	individual	residual	PCN for
	number	m	kPa	kN	µm	mm	mm	mm	m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	class	PCN	life	C subgrade
Area	Lane	Chainage	Sigma	Force	d1	h1	h2	h3	depth to	E1	E2	E3	E4	E0,01	CBR	Subgr	PCN	Life	PCN _{Sub}
APN	OR	125	989	157	2874	120	600	400	3,1	690	106	13	59	136	7	C	30	5,7	30
APN	OR	128	738	117	2211	120	600	400	5,4	630	98	13	63	132	7	C	30	2,0	30
APN	OL	22	1034	164	2174	120	600	400	3,7	841	187	17	51	188	5	C	39	20,0	39
APN	OL	150	522	83	1103	120	600	400	6,4	752	177	18	57	187	6	C	39	20,0	39
APN	OL	136	1041	166	2282	120	600	400	4,7	814	165	18	65	180	8	C	40	20,0	40
APN	OL	110	1041	166	1994	120	600	400	5,4	1214	205	15	59	206	7	C	44	20,0	44
APN	OR	98	1047	166	1901	120	600	400	5,5	1158	212	19	66	217	8	C	47	20,0	47
APN	OR	9	1071	170	1601	120	600	400	5,1	1128	306	26	56	264	6	C	54	20,0	54
APN	OR	153	1059	168	1773	120	600	400	4,0	868	219	23	80	236	11	B	50	20,0	55
APN	OR	64	1050	167	1897	120	600	400	3,9	858	187	20	102	219	16	A	50	20,0	62
APN	OL	52	1071	170	1377	120	600	400	5,4	1630	332	31	74	307	9	B	65	20,0	72
APN	OR	35	1081	172	1349	120	600	400	4,9	1089	240	28	126	316	22	A	64	20,0	81
APN	OL	77	1082	172	1195	120	600	400	8,9	1811	427	38	72	357	9	B	75	20,0	83



Faldlodsmålinger på Apron (forpladsen), Sandnessjøen Flyplass

Resultatet for Apron fremgår af den farvede række:

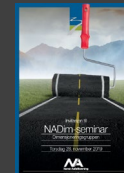
- PCN verdi (Mørk-grøn): 37 F/C/X/T
- Residual life (gul): 17 år
- ACN verdi B 737-200:
- 37 Type C underbund

Bemærk at levetiden kun er 17 år selv om PCN-verdien siger "unrestricted use"

Items in table	13 of 91	Percentile	0,15	PCN	37	CBR	6	E ₀	171	Residual Life	17
----------------	----------	------------	------	-----	----	-----	---	----------------	-----	---------------	----

Area	Lane	Chainage	Sigma	Force	d1	h1	h2	h3	Bedrock	E1	E2	E3	E4	E ₀	CBR	Subgrade	individual	residual	PCN for
	number	m	kPa	kN	µm	mm	mm	mm	m	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	class	PCN	life	Csubgrade
APN	OR	125	989	157	2874	120	600	400	3,1	690	106	13	59	136	7	C	30	5,7	30
APN	OR	128	738	117	2211	120	600	400	5,4	630	98	13	63	132	7	C	30	2,0	30
APN	OL	22	1034	164	2174	120	600	400	3,7	841	187	17	51	188	5	C	39	20,0	39
APN	OL	150	522	83	1103	120	600	400	6,4	752	177	18	57	187	6	C	39	20,0	39
APN	OL	136	1041	166	2282	120	600	400	4,7	814	165	18	65	180	8	C	40	20,0	40
APN	OL	110	1041	166	1994	120	600	400	5,4	1214	205	15	59	206	7	C	44	20,0	44
APN	OR	98	1047	166	1901	120	600	400	5,5	1158	212	19	66	217	8	C	47	20,0	47
APN	OR	9	1071	170	1601	120	600	400	5,1	1128	306	26	56	264	6	C	54	20,0	54
APN	OR	153	1059	168	1773	120	600	400	4,0	868	219	23	80	236	11	B	50	20,0	55
APN	OR	64	1050	167	1897	120	600	400	3,9	858	187	20	102	219	16	A	50	20,0	62
APN	OL	52	1071	170	1377	120	600	400	5,4	1630	332	31	74	307	9	B	65	20,0	72
APN	OR	35	1081	172	1349	120	600	400	4,9	1089	240	28	126	316	22	A	64	20,0	81
APN	OL	77	1082	172	1195	120	600	400	8,9	1811	427	38	72	357	9	B	75	20,0	83



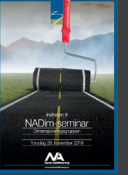


Sammenfatning

- PCN-verdien giver et “snapshot” billed af flyplass-belægningernes bæreevne.
- PCN-verdien skal være større end ACN-verdien for den aktuelle fly-type.
- PCN-verdien kan teknisk bestemmes relativt let ved hjælp af Faldlodsmålinger.
- Faldlodsmålerens belastning bør være af same størrelse som fly-hjulets belastning pga. Underbundens nonlinearitet.
- PCN-verdien beregnes på grundlag af ICAO's og FAA's retningslinier.
- PCN-verdierne skal efter målingerne harmoniseres til én verdi for hvert område.
- ICAO er ved at ændre ACN-PCN systemet til et ACR-PCR system hvor beregningsmetoderne ændres til “CDF” beregninger på den samlede flytrafik.

Nadim Seminar
Norsk Asfaltforening
Oslo 28 November 2019

Beregning av bæreevne på Flyplass
PCN-verdi



Spørsmål