

# Eesti Asfaldiliidu 42. ASFALDIPÄEV

- 12.30 - 12.55      **Teede kuumtaastamise kogemused ja väljakutsed**  
*Aivo Salum, Maanteeamet*
- 12.55 - 13.20      **Asfaldi eelsegamise ja termomöötmise mõttekusest, Teedeklastri ja Maanteeameti uuringud**  
*Erko Puusaag, Teede Tehnokeskus*
- 13.20 - 13.45      **Madalamargilise betooni kasutusvõimalused taristuehituses, Teedeklastri uuring**  
*Ain Kendra, Ramboll Eesti*
- 13.45 - 14.10      **Bituumeniuuringu vahetulemused, Maanteeameti uuring**  
*Sven Sillamäe, Tallinna Tehnikakõrgkool*
- 14.10 - 14.40      **Puitsildade olukord Eestis ja Põhjamaade kogemused, Teedeklastri uuring**  
*Per-Anders Fjällström, SP Sweden (inglise keeles)*



TALLINNA  
TEHNIKAÜLIKOOL



MAANTEEAMET

# Bituumeniuuringu vahetulemused I

Sven Sillamäe



TALLINNA  
TEHNIKAÜLIKOOL  
TTK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Karli Kontson, Andrus Aavik, Marek Koit, Rein  
Freiberg, Kristjan Lill, Maria Kulp, (Ott Talvik)

# Bituumeniga seotud probleemid

- Objektidelt saadud tagasiside:
  - Pindajate tähelepanek - üks aasta ekspluatatsioonis olnud bituumen ei käitu pindamiskihtides madalatel temperatuuridel viskoosse-elastsena vaid rabadana (seda eriti 0°C temperatuuri läheduses)
  - Asfalditootjad on öelnud, et praegused 70/100 margi nõuetele vastavad bituumenid erinevad tootmisprotsessis teineteisest siiski oluliselt
    - Seetõttu on olnud kahtlusi näiteks nafta- ja põlevkivibituumeni omavahel segamisest
  - Kahtluste korral on vähesed proovid viidud ka laborisse, kuid EN-katsetulemused näitavad, et kõik on korras.

- Objektidel ilmnevad praod juba 2-4 aasta jooksul, samas sideaine on EN-järgselt korras
- Sideainetest üldiselt puuduvad Eestis täpsed teadmised:
  - tegelikult me ei tea mis on see bituumen, mida Eestisse müüakse – „üks must vedelik“.
- Sideainete käitumisest (reoloogiast) teatakse Eestis väga vähe:
  - nt tootjad ei kontrolli peale penetratsiooni ja pehmenemistäpi (harva ka murdumistäpi) midagi;
  - harva kontrollitakse sideainete viskoossusnäitajaid 60°C ja 135°C juures

# Hüpotees

- Eesti turul müüakse madala kvaliteediga sideaineid?
- Need katsed, mida täna Eestis teostatakse, ei suuda adekvaatselt hinnata sideaine edasist käitumist meie teedel?
- Suutlikkusele orienteeritud katsed annavad meile parema pildi Eesti sideainetest ja nende erisustest ning võimaldab paremini hinnata asfaltsegude ja pindamiskihtide eluiga?



# Mis on bituumen?



- Bituumen on orgaaniline sideaine, vedela või sitke konsistentsiga kõrgmolekulaarsete süsivesinike, hapniku-, väävli- ja lämmastikühendite **keerukas** termoplastne kolloidne segu.
- Praktiliselt mittelenduv kleepuv ja vett läbilaskmatu materjal, mis saadakse nafta töötlemisest või mida leidub looduslikus olekus, on pea täielikult lahustuv tolüeenis ning väga viskoosne või peaaegu tahke toatemperatuuri juures.

- Bituumenid on viskoelastsed materjalid, mis tähendab, et neis esineb nii viskoosset (vedelik kõrgetel temperatuuridel) kui elastset käitumist (madalatel temperatuuridel). Selline käitumine oleneb nii temperatuurist kui avaldatud koormusest.
- Kuna bituumenid koosnevad orgaanilistest molekulidest, reageerivad need õhuhapnikuga. Protsessi nimetatakse oksüdeerumiseks ja see muudab bituumeni molekulide struktuuri ja asetust. Oksüdeerumine muudab bituumeni jäigemaks ja rabedamaks.
- Lahus-tüüpi (ing. *sol-type*) bituumenitel on Newtoni vedeliku käitumine ja geel-tüüpi (ing. *gel-type*) on tugevalt mitte-Newtoni vedelikud (mitte-Newtoniline käitumine kirjeldab mittelineaarseid viskoelastseid omadusi). Need on kaks äärmust, millega kirjeldada bituumenite voolavust ja enamus materjale asetseb nende vahepeal.

- Bituumeni keemilise koosseisu komplekssus seisneb faktis, et materjal sisaldab väga mitmeid keemilisi komponente. Üldiselt kirjeldatakse naftat kas parafiinse, nafteense või aromaatsena, kui tema sisalduses on enamus vastavalt kas küllastunud, tsüklilisi või aromaatsed ühendid.
- Bituumeni omadused sõltuvad sellest, kuidas molekulid üksteist mõjutavad ning kuidas neid omakorda mõjutavad asfaltbetooni täitematerjalid ja muud tegurid.
- Bituumeni põhilised keemilised grupid võib jaotada nelja ossa: küllastunud (ing. *saturates*), aromaadid (ing. *aromatics*), vaigud (ing. *resins*), asfalteenid (ing. *asphaltene*), mida kutsutakse **SARA-fraktsioonideks**



- Keemilisest vaatevinklist vähendab vananemine eelkõige aromaatsaid ühendeid tõstes hiljem vaha ja asfalteenide sisaldust. Seega on üldiselt aksepteeritud, et aromaatsed ühendid genereerivad vaike, mis toodavad asfalteene. Küllastunud osised jäävad esialgu puutumatuteks, kuna neil on madal keemiline reaktiivsus.
- Bituumeni omadused sõltuvad selle reoloogilistest omadustest ja nende muutumine ajas on äärmiselt mittesoovitav, kuna selle tulemusel bituumeni omadused muutuvad halvemuse suunas, mis lõpptulemusena väljendub teekattes erinevate defektidena. Kuna bituumen on looduslik orgaaniline lõpp-produkt iidsetest elusorganismidest, hakkab see õhuhapniku käes keemiliselt oksüdeeruma. Asfaltkatetes bituumeni oksüdeerumine muudab terve katte oluliselt rabedamaks viies lõpuks tugeva pragunemiseni.
- Kui oksüdeerumise käigus polaarseste funktsionaalsete gruppide kontsentratsioon tõuseb liiga kõrgeks, kaotavad molekulid või molekulgrupid termodünaamiliste ja mehaaniliste mõjutuste tagajärjel tekkivate jõudude vastu võime piisavalt liikuda (molekulid ei suuda enam üksteisest piisava kiirusega eemalduda) ning tulemuseks on asfaltkatte mõranemised, pragunemised ja kate ei suuda enam avaldatud koormusest taastuda.



# Probleemile lähenemise metoodika

- Uuringusse kaasatud 8 bituumenit:
  - 7 naftabituumenit (5 tk margiga 70/100 ja 2 tk 160/220)
  - 1 põlevkivibituumen (margiga PB-5)
- Kõikide sideainete katsetamine vastavalt EN 12591 tootestandardile + täiendavad katsed, mis on tegelikult mõeldud modifitseeritud sideainetele

# Probleemile lähenemise metoodika

- Eesti bituumenite analüüs Wisconsini ülikoolis (sideainetele ja asfaltsegudele spetsialiseerunud teaduskond prof. H. Bahia juhtimisel) – suutlikkusel põhinevad omadused + modifitseerimisvajadus?
- Uuringusse kaasatud sideainete keemiakatsed TTÜ-s:
  - Elementkoostis (C, H, N, O, S + 9 metalli – päritolu ja vananemise jälgimine erinevatel etappidel – RTFOT ja PAV)
  - FTIR („sõrmejälj“ ja vananemise jälgimine)
  - NMR („sõrmejälj“ ja vananemise jälgimine)
  - GC-MS („sõrmejälj“ ja koostis)
- Lisaks GPC Wisconsini ülikoolis

# Probleemile lähenemise metoodika


- Eesti temperatuurikaardi koostamine, et näha, millistes temperatuurivahemikes bituumenid Eestis töötama peavad (*Performace Grade*-i põhimõtteid järgides) – EMHI 20 aasta andmetel.
- USA ja Kanada teadlaste, tootjate ja kohalike Maanteeameti esindajatega konsulteerimine (lisaks sideainetele ka asfaltsegud)

# Järeldused I etapist lühidalt

- Naftabituumenite hulgas esineb bituumeneid, millel on selgeid märke „puhumisest”.
  - Tegemist on tehases juba vanandatud bituumenitega, mille vastupidavus ja eluiga ei ole pikk (Kanada kogemustel 2-4a esimeste pragude tekkimiseni)
- Venemaa päritolu bituumenitel on kõrge vahaühendite sisaldus
  - Madalatel temperatuuridel rabedad, kõrgetel temperatuuridel võivad kiirelt kaotada oma sitkuse ning nake täitematerjaliga pole hea
- Eestis kasutusel olevad bituumenid ei pruugi PG (performance grade) süsteemi järgi väga täpselt sobida meie teedel esinevate temperatuurivahemikega (eelkõige miinustemperatuuridel) ja katte eluiga on lühem.

- Eestis püütakse pikiroopaid vältida sitkema sideainega, kuid need ei tööta niivõrd hästi madalatel temperatuuridel
- EN nõuetele vastavate sideained ei tööta kõik sama moodi!
- EN katsed ei võimalda adekvaatselt hinnata sideaine käitumist teel.

# Tulemused – EN + lisakatsed

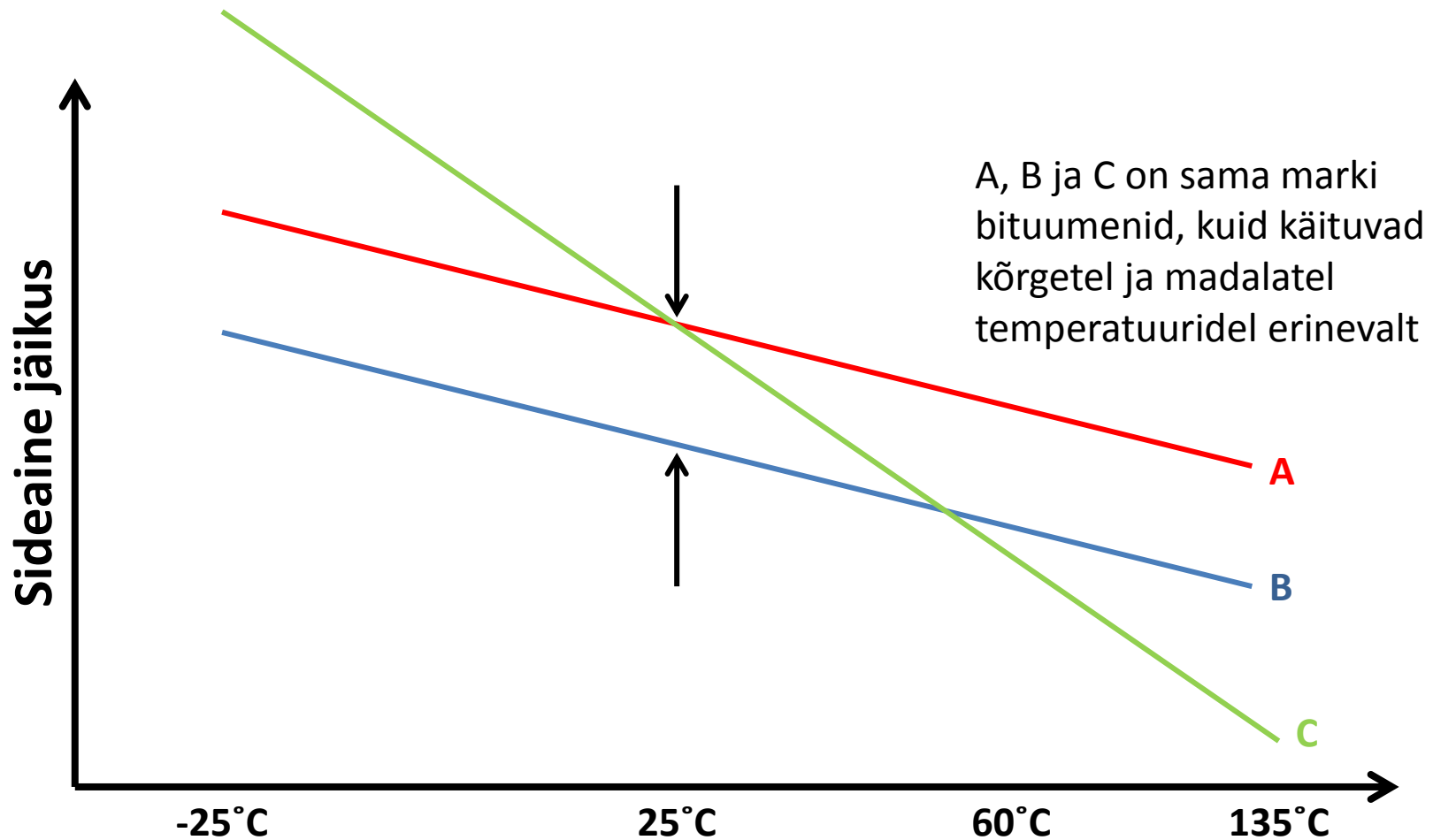


Määratud omadus	Ühik	70/100					160/220	
		A	B	C	D	E	F	G
Penetratsioon	x 0,1 mm	84	74	83	88	82	177	186
Pehmenemistäpp	°C	45,4	46,6	45,8	46,4	52	38,2	38,8
Kinemaatiline viskoossus 135 °C	mm²/s	368	382	357	358	660	212	191
Dünaamiline viskoossus 60 °C	Pa x s	180	161	139	134	358	63	43
RTFOT kuumutuskadu	%	-0,17	0	0,11	0,05	0,01	-0,42	0,16
RTFOT penetratsioon	x 0,1 mm	54	50	54	61	56	108	119
RTFOT pehmenemistäpp	°C	51,2	51,6	50,6	51,2	59,6	44,2	43,6
Jääkpenetratsioon	%	64	68	65	69	68	61	64
Pehmenemistäpi muutus	°C	5,8	5,0	4,8	4,8	7,6	6,0	4,8
Elastne taastuvus 10 °C juures	%	20	12	14	13	18	16	11
Murdumistäpp	°C	-16	-15	-20	-18	-24	-20	-18
Leektäpp	°C	316	276	352	338	316	294	344
Lahustuvus tolueenis	%	99,98	100	99,98	99,97	99,98	99,99	99,98
Penetratsioonindeks PI	-	-1,2	-1,2	-1,1	-0,7	0,6	-1,4	-0,9
Duktiilsus 5 °C juures	J/cm²	5,17	-	6,07	4,33	-	1,40	2,6
Duktiilsus 10 °C juures		-	2,35	-	-	1,60	-	-

Kui välja arvata bituumeni „E“ pehmenemistäpp, siis kõik bituumenid on EN-i järgi korras



# Penetratsioonil põhineva klassifitseerimissüsteemi puudus



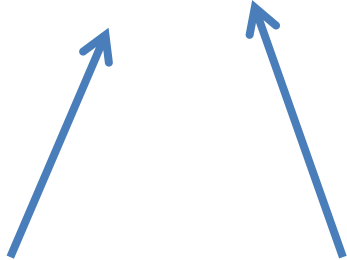
# USA-Kanada Superpave

- USA-s ja Kanadas jõuti 1980-ndate lõpus järeldusele, et penetratsioonil ja viskoossusel põhinev sideainete lahterdamine ei ole jätkusuutlik;
- 1987-1993 viidi läbi 150mln USD asfaltkatete uurimisprogramm (Superpave), millest 50mln eraldati sideainete omaduste paremaks kirjeldamiseks mõeldud süsteemi väljatöötamiseks.

# Tulemus - Performance Grading

- PG järgi määratakse igale sideainele temperatuurivahemik, milles sideaine töötab efektiivselt ehk meile kasulikult
- Näiteks sideaine klassiga:

**PG 58-22**

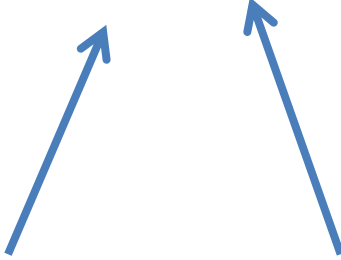


Sideaine töötab kasulikult +58 kraadi juures ja aitab ära hoida „pikiroopaid“

Sideaine töötab efektiivselt ka veel -22 kraadi juures ja pole muutunud rabedaks ning hoiab ära pragunemist külmadel temperatuuridel

# Performance Grade (PG)

**PG 58-22**

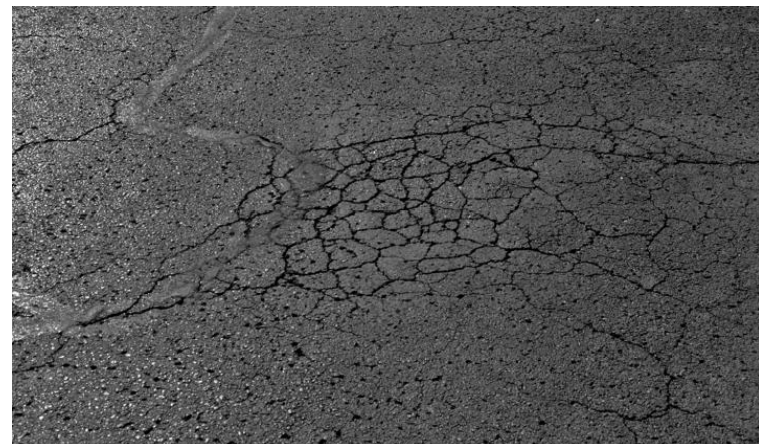
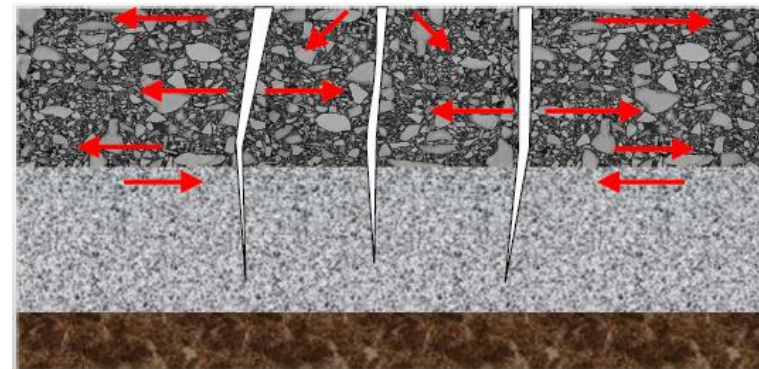
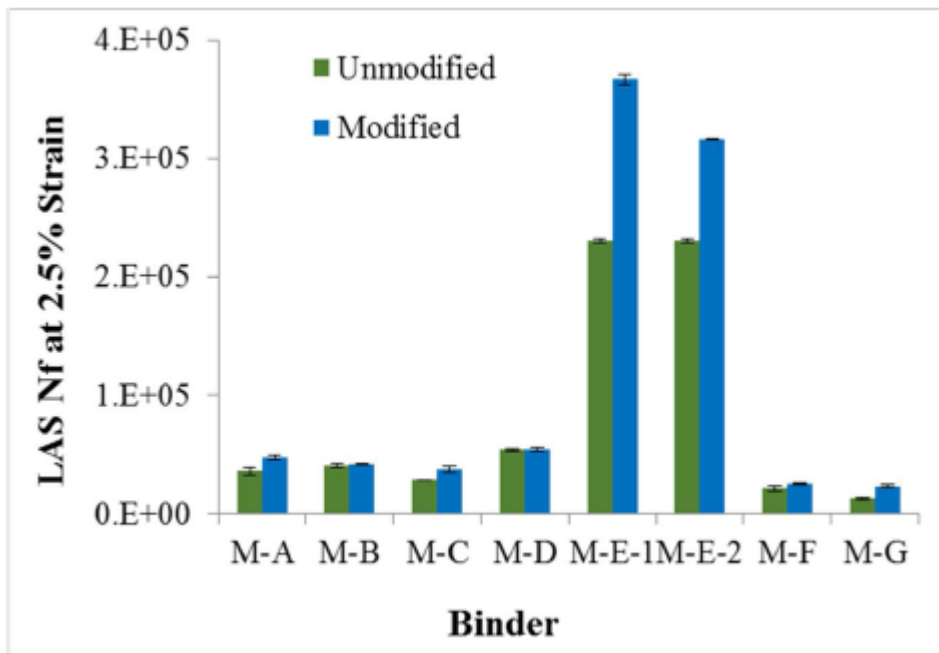


Ülemise otsa temperatuur  
määratakse ära  
originaalbituumenile ja peale  
RTFOT vanandamist

Alumise otsa temperatuur  
määratakse peale PAV  
vanandamist (ca 5-8a  
ekspluatatsioonis olnud  
sideainega võrdne)

# Performance Grade (PG)

- Samuti määratakse PG raames ära sideaine väsimuskindlus keskmistel temperatuuridel (nt 15 kraadi juures).
- Selles valdkonnas toimub hetkel pidev areng täpsemate katsete väljatöötamiseks ja ka rakendamiseks



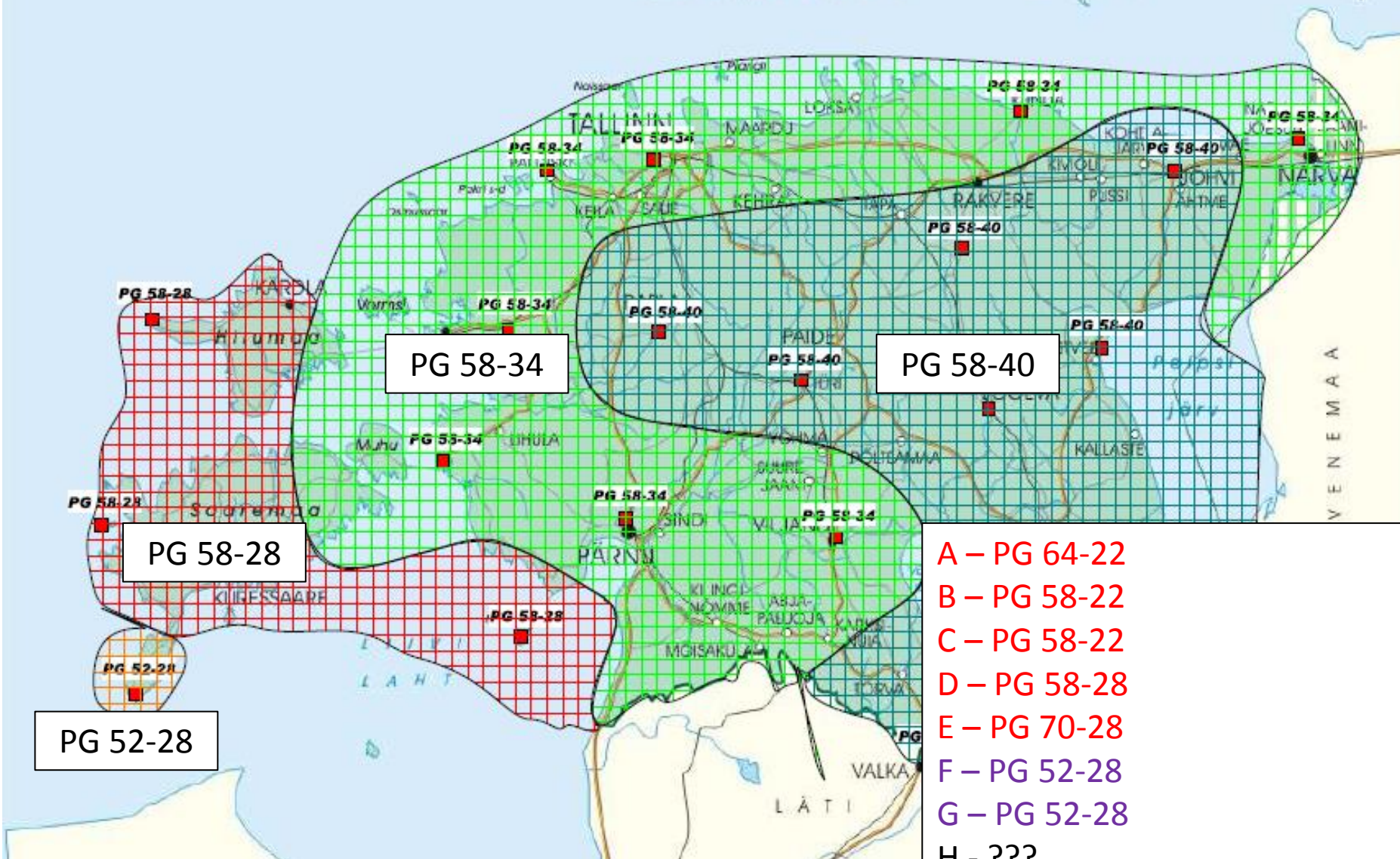
# PG XX-YY

- ...ehk siis sideaine peab sobima konkreetset teed mõjutavate temperatuuridega;
- Selleks võetakse abiks konkreetse piirkonna temperatuuriandmed ja küllaltki lihtne statistika.



# Eesti PG kaart

PG klassid 98% esinemise tõenäosusega



- A – PG 64-22
- B – PG 58-22
- C – PG 58-22
- D – PG 58-28
- E – PG 70-28
- F – PG 52-28
- G – PG 52-28
- H – ???

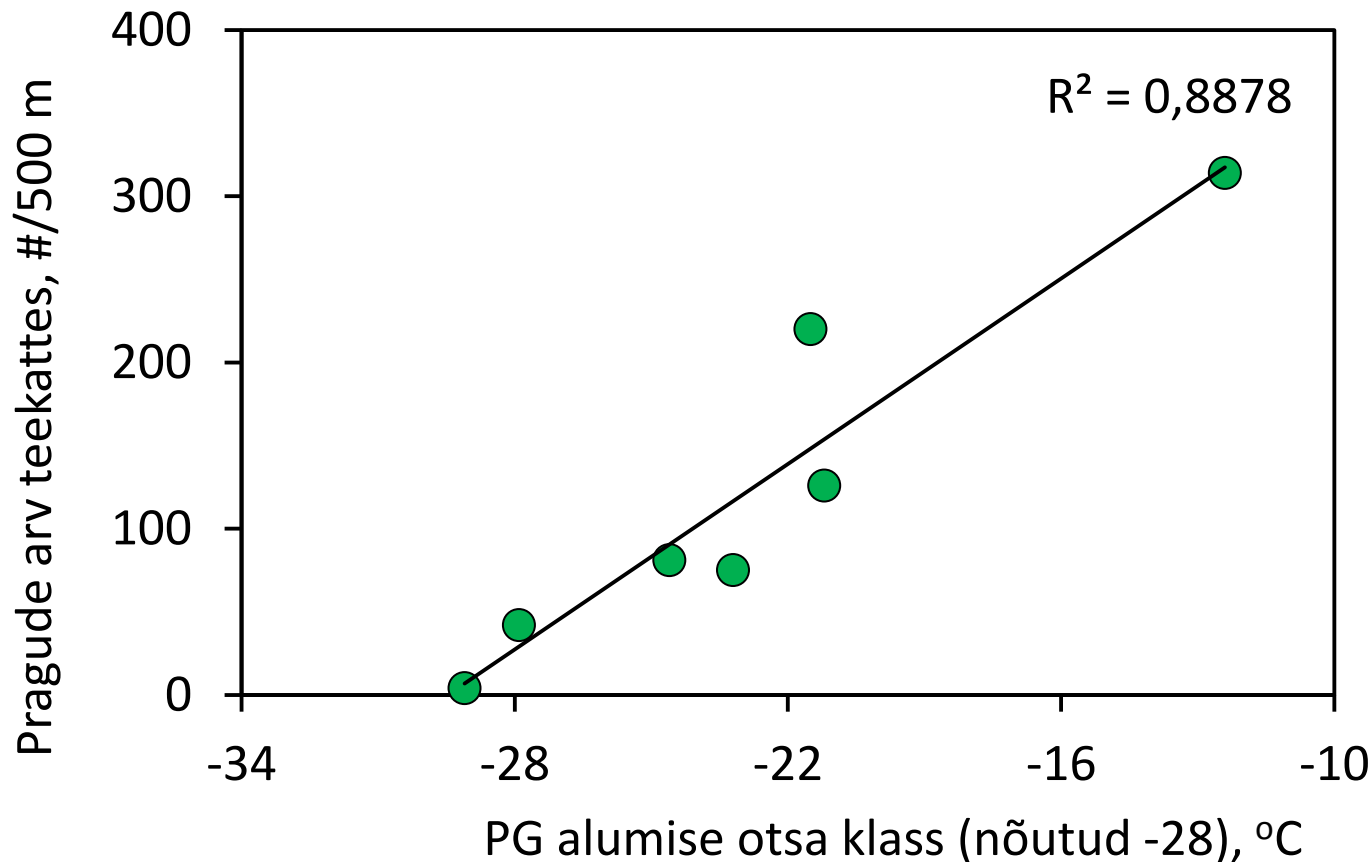
# Eesti oludesse vajalikud PG klassid

		Kõrgel temperatuuril toimimine			
		52	58	64	70
Madalal temperatuuril toimimine	-22	●	●	●	
	-28		●		●
	-34		○		
	-40		○		



# Mis juhtub kui alumise otsa tingimused pole täidetud?

- Kanada näitel (7-8a vanused katted):





# Järeldused PG-st

- 70/100 bituumenid katavad ära küll kõrgema otsa temperatuurid, kuid ei ulatu madalama otsa temperatuurideni -> praod teekattes
- 160/220 bituumenid katavad ära ainult kuni miinus 28 kraadini???
- Bituumensideainete väsimuskindlus.

# Edasi?

- Meie bituumenite modifitseerimine, et need sobiksid meie kliimasse;
  - Täpsed keemiaanalüüsid, sh valmistusprotsess, vananemiskiirus, päritolu, erinevate lisandite olemasolu bituumenis (amiinipõhised nakke- ja töödeldavuseparandajad, SBS sisaldus);
  - Olemasolevatelt erineva vanuse ja seisukorraga teedelt proovide võtmine ja katsetamine;
  - Metoodika bituumeni sobivuse määramiseks, tema eluea hindamiseks;
  - Mis on tegelikult need bituumeni omadused, mida me vajame ja kuidas seda mõõta ning saavutada.
- 
- Mastiks...
  - Asfaltbetoonid...
  - Lõppeesmärgiks on pikemaajalised asfaltkatted.





**BETTER  
ROADS  
AHEAD**

**TÄNÄN!**