

RAPPORT

Magneter i vägbanan för positionering av fordon

– studie av belägningens inverkan på magnetfältet, robusthet och montering



Trafikverket

Postadress: Trafikverket, 781 89 Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se

Telefon: 0771-921 921

Dokumenttitel: Magneter i vägbanan för positionering av fordon - studie av beläggnings inverkan på magnetfältet, robusthet och montering

Författare: David Björklöf

Dokumentdatum: 2015-07-09

Ärendenummer: TRV 2012/34772

Version: 1.0

Kontaktperson: David Björklöf

Omslagsfoto: Montering av magneter på väg 68 i Fagersta

Fotograf samtliga bilder: David Björklöf

Innehåll

1. SAMMANFATTNING	4
2. BAKGRUND	5
3. SYFTE	5
4. METOD	5
4.1. Studera magnetiska egenskaper hos asfaltbeläggningen	5
4.1.1. Mätning i laboratorium	5
4.1.2. Mätning i fält	7
4.1. Montera magneter i vägbanan och undersöka robustheten	7
5. TEORI	9
5.1. Jordens magnetfält	9
5.2. Magnetfält från permanent magnet	10
6. RESULTAT	11
6.1. Asfaltbelägningens inverkan på magnetfältet	11
6.2. Robusthet hos magneterna	14
6.3. Montering av magneter	15
7. SAMMANFATTANDE SLUTSATSER	15
8. REFERENSER	16
BILAGA 1 - MÄTNING AV MAGNETFÄLT PROVPLATS FAGERSTA	17

1. Sammanfattning

Magneter i vägbanan kan användas för positionering av fordon. Studien har syftat till att undersöka hur asfaltbeläggnings- och dess sammansättning påverkar magnetfältet från en ferritmagnet. Vidare har studien avsett att utreda hur magneter i vägbanan påverkas av tryck och vibrationer från vägunderhållsmaskiner samt ge förslag på hur en hållbar och kostnadseffektiv montering av magneter kan genomföras.

Mätningar av magnetfält har genomförts med olika beläggningstyper och stenmaterial i laboratoriemiljö och i fält. En provmontering av 42 magneter har genomförts i Fagersta med mätning av magnetfält före och efter beläggningsåtgärd.

Resultatet visar att de beläggnings- och stenprover som studerats inte har haft någon påtaglig effekt på magnetfältet från en ferritmagnet. Vidare har inte tryck och vibrationer i samband med fräsning och ny beläggning på provsträckan i Fagersta reducerat magnetfältet hos magneterna i vägbanan. För att genomföra en snabb och kostnadseffektiv montering av magneter rekommenderas en automatiserad process, där t ex hålen stansas, magneterna gjuts in i fyllnadsmassan i förväg och trycks ner maskinellt i hålen.

2. Bakgrund

En noggrann och robust positionering av fordon är en förutsättning för autonom körning. Befintliga positioneringssystem har brister i detta avseende. GPS har en otillräcklig positioneringsnoggrannhet och vägmarkeringar är svåra att detektera vid dåliga väderförhållanden och på grund av slitage.

Under 2013 genomförde Volvo PV och ÅF en förstudie¹ av magnetbaserad fordonspositionering på uppdrag av Trafikverket. Studien syftade till att undersöka förutsättningar för ett fungerande system avseende noggrannhet/robusthet, sensorutformning i fordon, egenskaper hos magneterna samt uppskattad kostnad.

Väghållarens intresse ligger i utformningen av magneterna, hur dessa påverkas av vägmiljön och eventuella konsekvenser av beläggningstyp. Förstudien lämnar dock en del frågetecken kring beläggningens inverkan på magnetfältet, magneternas robusthet samt utformning och installation. Mer kunskap inom området behövs innan eventuell storskalig installation genomförs.

3. Syfte

Denna studie syftar till att svara på följande frågeställningar:

- Hur påverkar asfaltbeläggningen och dess sammansättning magnetfältet från en ferritmagnet?
- Hur påverkas magneter i vägbanan av tryck och vibrationer från vägunderhållsmaskiner?
- Hur kan en hållbar och kostnadseffektiv montering av magneter genomföras?

4. Metod

4.1. Studera magnetiska egenskaper hos asfaltbeläggningen

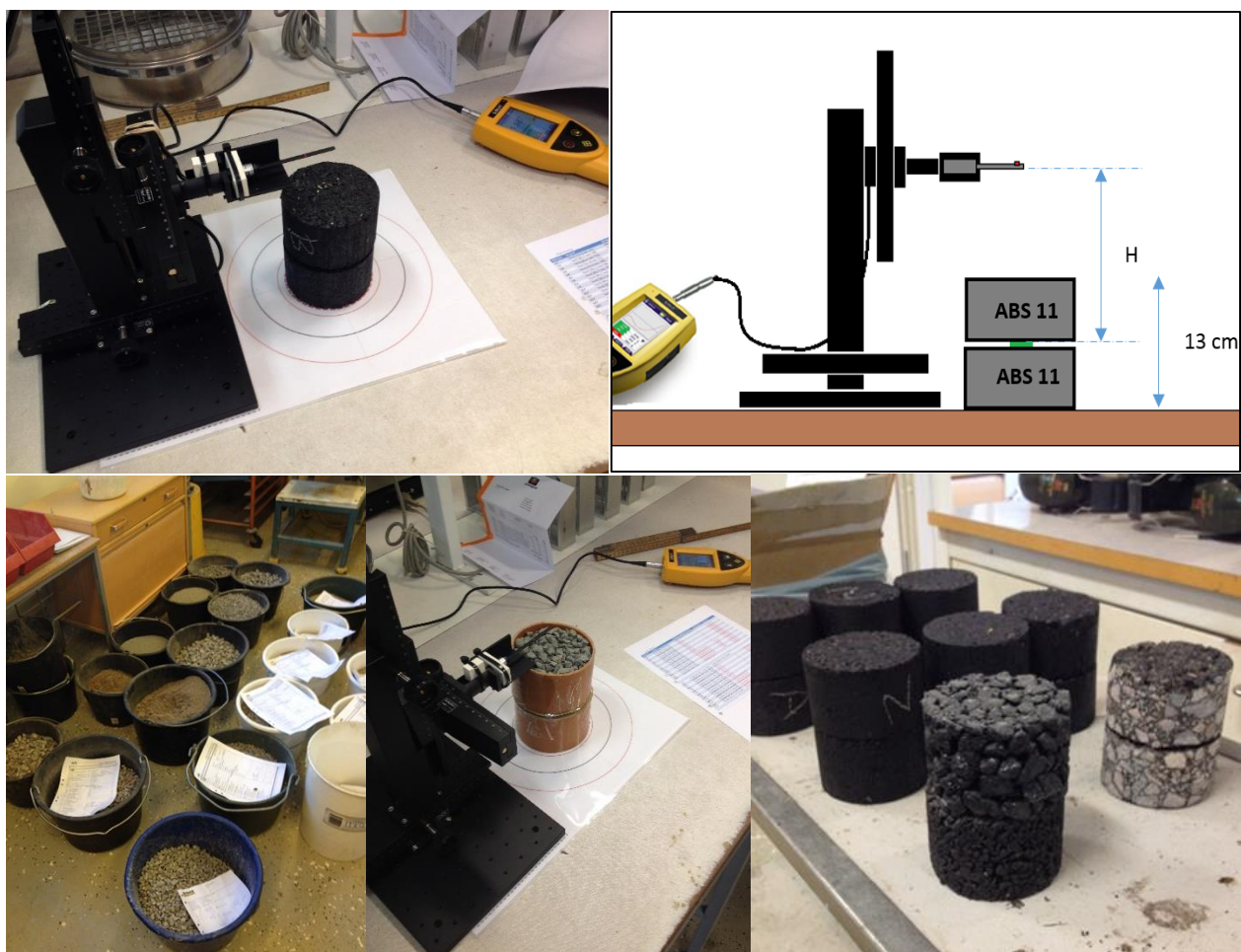
För att undersöka om asfaltbeläggningen har någon påverkan på magnetfältet genomfördes mätningar med magneter tillsammans med olika beläggningstyper och stenmaterial. Mätningarna utfördes både i fält och vid NCC:s Väglaboratorium i Västerås. Mätinstrumentet var en treaxial teslamätare från Coliy där mätsensorn kan detektera magnetfält från 100 nT (1 mG) till 3 T (30 KG).²

4.1.1. Mätning i laboratorium

Asfaltsprover från olika beläggningstyper och plastcylindrar fyllda med stenprover användes för att studera hur magnetfältet påverkades, se figur 1. Stenmaterialet härstammade från olika bergtäkter och utgjordes av granit, gnejs, porfyr och diabas. Asfaltsproverna och de fyllda plastcylindrarna var av diametern 100 mm och höjden 65 mm. Som magnet användes en ferritmagnet diameter 30 mm och höjd 5 mm (klass Y35). Magneten placerades mellan två prover och magnetfältet registrerades på höjden (H) 15 till 25 cm ovanför magneten med intervallet 1 cm. Mätinstrumentet kalibrerades för att inte inkludera jordens naturliga magnetfält i mätningarna. Tabell 1 visar de olika typerna av asfalt respektive stenmaterial som undersöktes.

¹ "Vehicle Positioning with Magnets in a Carriageway" ÅF AB

² Modell G93, för fullständig teknisk specifikation se www.coliy.com



Figur 1 Mätning av magnetfält vid olika beläggningstyper och stenmaterial.

Material	Specifikation	Bergart	Bergtäkt
Asfalt	ABS 11	Gnejs/granit	Biskopstorp (Halmstad)
Asfalt	ABS 16	Porfyr	Gustafs (Dalarna)
Asfalt	ABS 16	Granit	Arlanda
Asfalt	ABT 11	Granit	Vändle (Västerås)
Asfalt	ABT 11	Blandad bergart	Vårby (Stockholm S)
Asfalt	ABD 16	Granit	Vändle (Västerås)
grus	8/16	Naturkross	Stingtorpet (Sala)
grus	8/11	Diabas	Svalboviken (Eskilstuna)
Endast magnet	Ferrit 30 x 5 mm (Y35)	-	-

Tabell 1 Förteckning över testade beläggningstyper och stenmaterial

4.1.2. Mätning i fält

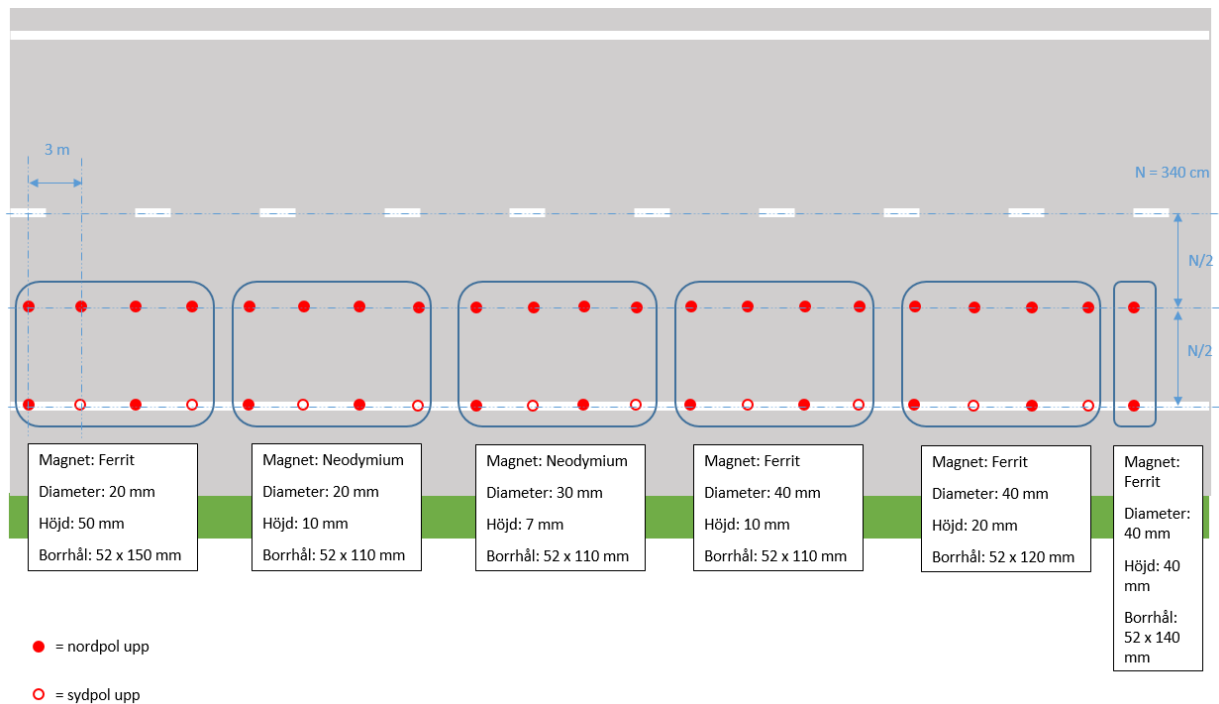
För att studera jordens magnetfält och avgöra om asfaltbeläggningen har någon inverkan på den naturligt förekommande fältstyrkan valdes 6 mätpunkter ut på allmän väg, se figur 2. Hälften av mätpunkterna utgjordes av asfaltbeläggning med stålslagg som ballast. Mätningar genomfördes även när en ferritmagnet placerats ovanpå beläggningen. Fyra av mätpunkterna låg i anslutning till cirkulationsplatsen vid infarten till Smedjebacken (korsningen väg 66 och Smedjegatan) och resterande två låg på väg 50 strax söder om Ludvika. Magnetfältet mättes på höjden 30 cm ovanför beläggningen.



Figur 2 Placering av mätpunkter samt mätinstrument och stativ vid cirkulationsplats Smedjebacken väg 66

4.1. Montera magneter i vägbanan och undersöka robustheten

Magneter kan skadas av vibrationer och stötar och få magnetfältet försvagat. För att undersöka om de påverkas av fräsning och nyläggning av asfalt, samt för att få erfarenhet av monteringsprocessen, installerades 42 stycken magneter på en teststräcka längs väg 68 i Fagersta. Två olika dimensioner av neodymiummagneter och 4 olika dimensioner av ferritmagneter monterades 10 cm under beläggningssytan. Magnetfältet mättes på höjden 20 respektive 30 cm ovanför beläggningen direkt efter montering och sedan efter att vägen blivit fräst (ca 40 mm) och fått ny beläggning. Magneterna placerades i vägbanan enligt figur 3.

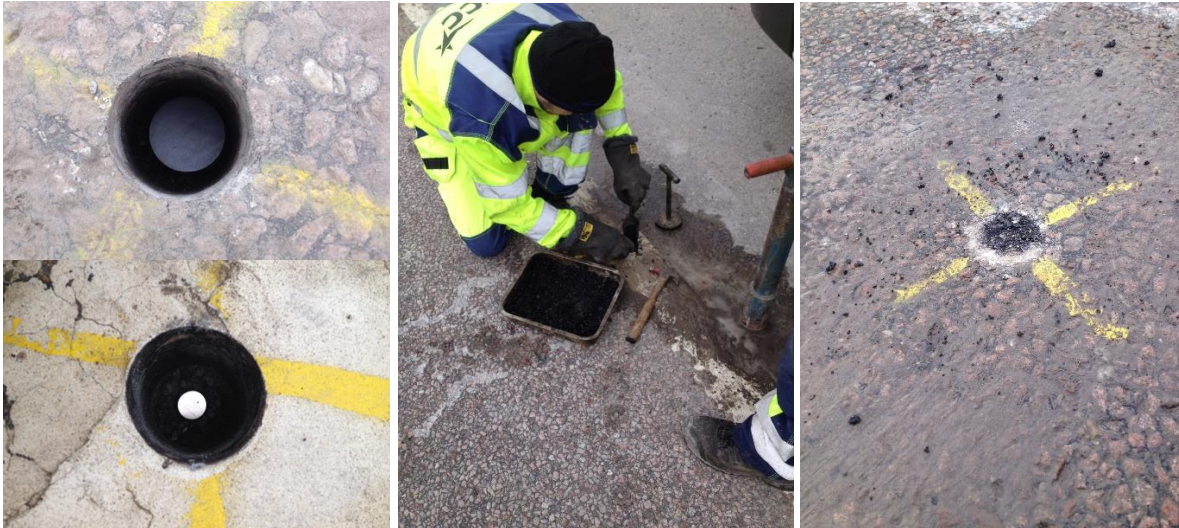


Figur 3 Placering av magneter i vägbanan och dimension hos magnet respektive borrhål.

Magneterna monterades av NCC och Trafikverket 2015-05-05, se figur 4 och 5. Samtliga hål borrades med en fordonsburen bormaskin och en 52 mm bred kärnborrh. Försök gjordes även med en handhållen bormaskin med 25 mm bred kärnborrh för de smalare magneterna, men det fungerade inte då borren täpptes igen med sten. Borrhålen fylldes sedan med stensmjöl för att säkerställa rätt djup. Magneterna placerades i hålen som i sin tur fylldes med varm asfalt och packades för hand.



Figur 4 Borring av hål samt ifyllnad av stensmjöl.

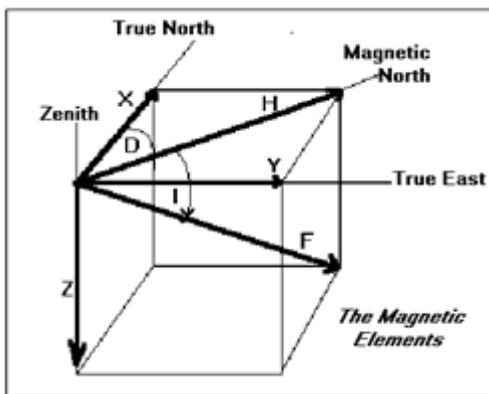


Figur 5 Placering av magneter i borrhålen samt återfyllning med asfalt

5. Teori

5.1. Jordens magnetfält

Jordens magnetfält kan beskrivas med hjälp av sju parametrar. Dessa är deklination (D), inklination (I), horisontell intensitet (H), vertikal intensitet (Z), total intensitet (F) samt nord- (X) och östkomponenterna (Y) av den horisontella intensiteten, se figur 6.



Figur 6 Jordens magnetfält uttryckt i sju parametrar³

$$D = \tan^{-1} \frac{Y}{X} \quad (1)$$

$$I = \tan^{-1} \frac{Z}{H} \quad (2)$$

$$I = \sin^{-1} \frac{Z}{F} \quad (3)$$

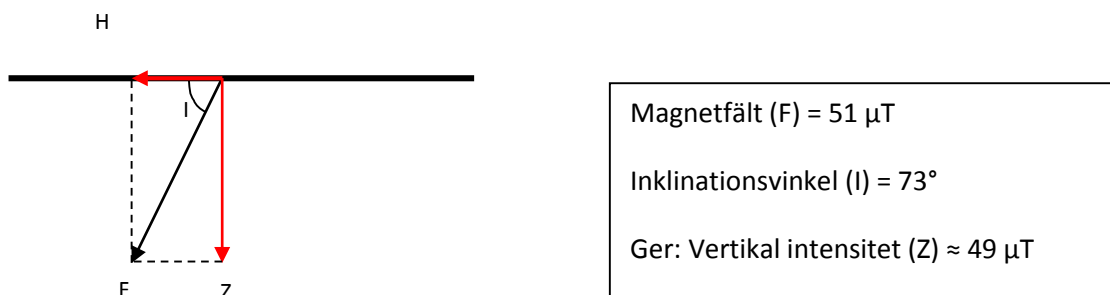
³ National Geophysical Data Center <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geomaginfo.shtml>

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (4)$$

$$F = \sqrt{H^2 + Z^2} \quad (5)$$

Styrkan hos magnetfältet (F) vid jordytan varierar från ca 20 μT till 70 μT och är i Sverige (Stockholm) ca 51 μT .^{4,5} Inklination (I) är vinkeln mellan magnetfältet (F) och det horisontella planet. På sydliga breddgrader är magnetfältet (F) riktat uppåt från jordytan med en negativ inklinationsvinkel. Vid ekvatorn är magnetfältet (F) parallellt med jordytan dvs $I = 0$. På nordliga breddgrader är magnetfältet (F) riktat ner mot jordytan med en positiv inklinationsvinkel. I Sverige (Stockholm) är inklinationsvinkeln ca 73°.⁶

Om magnetfältet (F) är 51 μT och inklinationsvinkeln (I) är 73° ges den horisontella intensiteten (H) och den vertikala intensiteten (Z) av ekvation 3 och 5. Detta illustreras i figur 7.

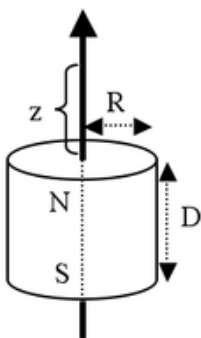


Figur 7: Illustration av magnetfältsp parametrarna F, I, Z och

5.2. Magnetfält från permanent magnet

Magnetfältet (B) längs z-axeln från en cylinderformad magnet ges av ekvation 6 och figur 8⁷:

$$B = \frac{Br}{2} \left(\left(\frac{D+z}{\sqrt{R^2 + (D+z)^2}} \right) - \left(\frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}} \right) \right) \quad (6)$$



Br = remanensfält [Gauss]

z = avstånd

D = cylinderhöjd

R = cylinderradie

Figur 8 Magnetfält från cylinderformad magnet

⁴ British Geological Survey, http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html#_Toc2075554

⁵ Baserat på IGRF-12 (2015) http://geomag.nrcan.gc.ca/calc/mfcal-r-eng.php?date=2015-03-24&latitude=59.32893&latitude_direction=1&longitude=18.06491&longitude_direction=1

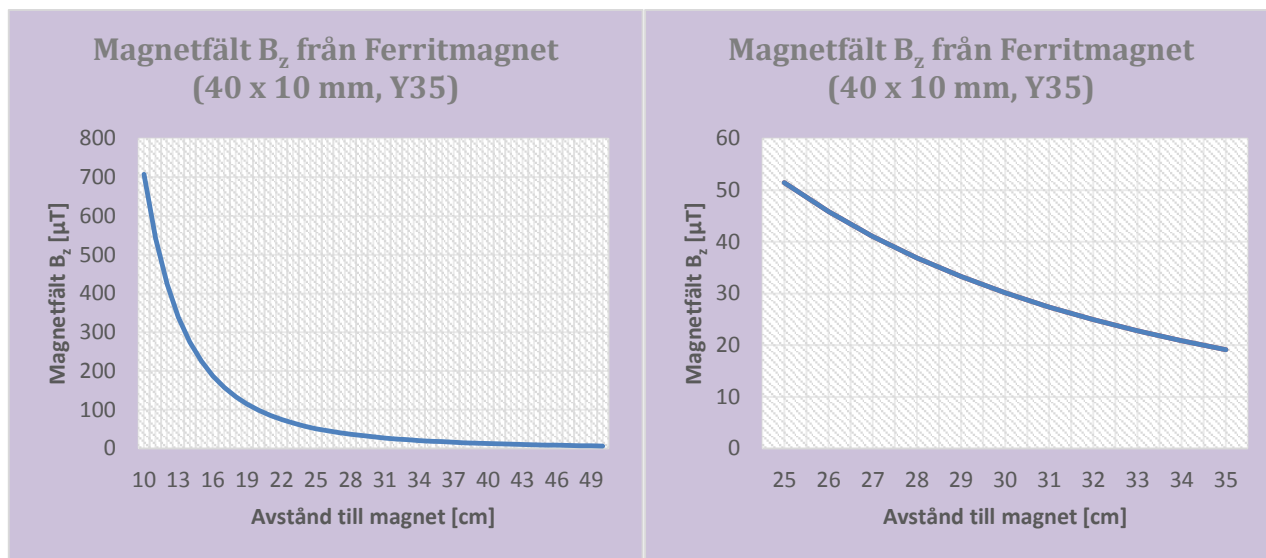
⁶ Baserat på IGRF-12 (2015)

⁷ <http://www.supermagnete.de/eng/faq/How-do-you-calculate-the-magnetic-flux-density>

En cylinderformad ferritmagnet (klass Y35) med diameter 40 mm, höjd 10 mm och Br 4300 Gauss skapar ett magnetfält (B) på ca 30 μ T vid avståndet 30 cm.

Om ovanstående magnet placeras på vägbanan kommer jordens magnetfält att påverkas lokalt. På höjden 30 cm ovanför vägbanan kommer jordens magnetfält i vertikal riktning (Z) öka eller minska med ca 30 μ T beroende på vilken magnetpol som är vänd uppåt.

Magnetfältet avtar exponentiellt vilket framgår av figur 9. Nära magneten innebär en liten avståndsökning en kraftig reduktion av magnetfältet. Längre ifrån magneten påverkar inte en avståndsökning magnetfältet lika kraftigt.



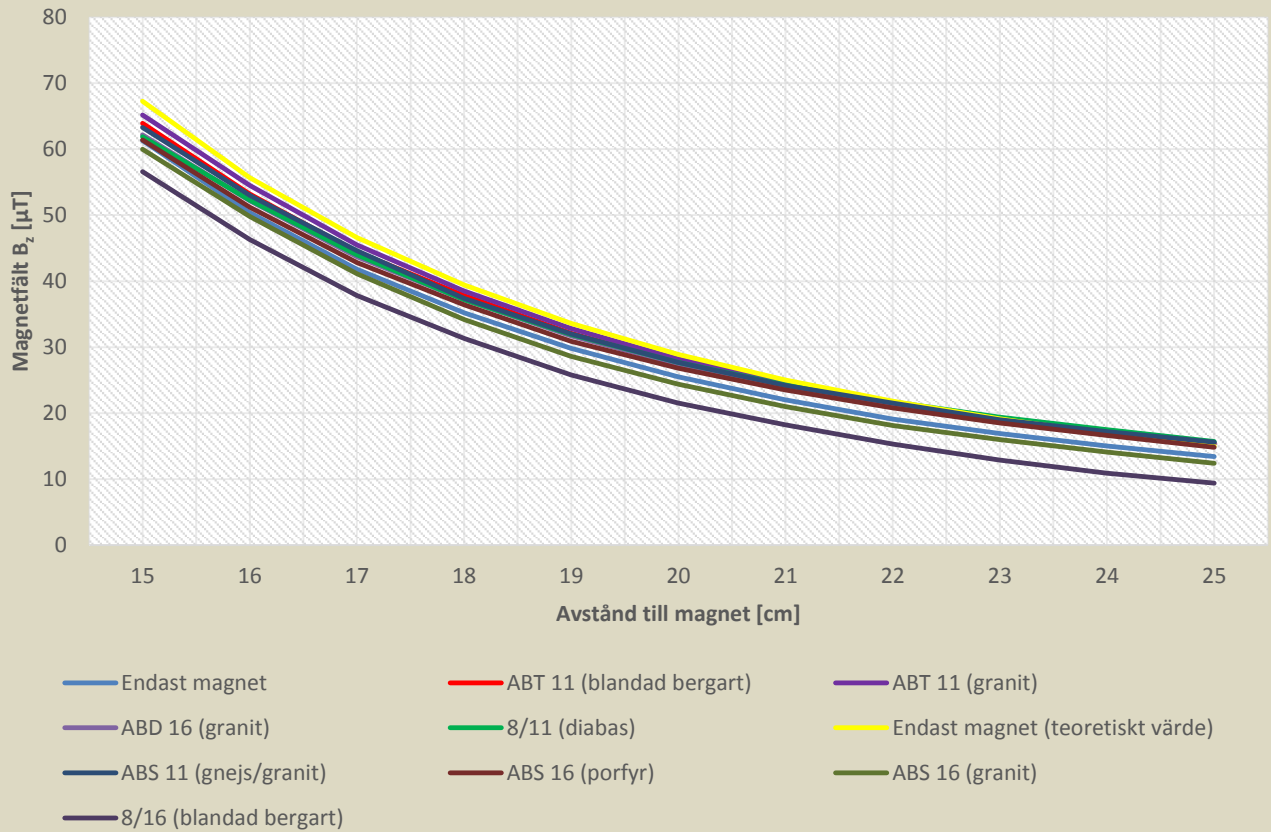
Figur 9 Magnetfältet avtar med avståndet från magneten

6. Resultat

6.1. Asfaltbelägningens inverkan på magnetfältet

Magnetfältet från en ferritmagnet registrerades på avståndet 15 till 25 cm för beläggings- och stenproverna i tabell 1. Figur 10 visar hur magnetfältet avtar med avståndet för respektive prov. I diagrammet finns även magnetfältskurvan för enbart ferritmagneten samt den teoretiska magnetfältskurvan (enligt ekvation 6) med som referens.

Magnetfält B_z från Ferritmagnet (30 x 5 mm, Y35)



Figur 10 Magnetfält längs z-axeln från ferritmagnet

Magnetfältediagrammet i figur 10 visar att de olika beläggings- och stenproverna inte har någon större reducerande effekt på magnetfältet. Om så hade varit fallet skulle magnetfältet B_z avvikit betydligt mer från referenskurvorna "Endast magnet" och "Endast magnet (teoretiskt värde)".

Resultatet från fältmätningarna på väg 66 i Smedjebacken och väg 50 utanför Ludvika redovisas i tabell 2. Horisontellt magnetfält (H) och inklinationsvinkel (I) är beräknade utifrån uppmätta värden på F, X, Y, Z och ekvation (1) –(5).

Mätpunkt	Test med magnet (Riktning nordpol)	Magnetfält totalt (F) [μT]	Magnetfält x-led (X) [μT]	Magnetfält y-led (Y) [μT]	Magnetfält z-led (Z) [μT]	Magnetfält horisontellt (H) [μT]	Inklinationsvinkel (I) [grader]
Nr 1: Väg 66 stålslagg: vägkropp	nej	49,9	5,7	7,9	49,0	9,7	78,8
	Ja (ner)	78,7	4,1	7,2	78,3	8,3	84,0
Nr 2: Väg 66 stålslagg: vägkropp + beläggning	nej	49,8	5,3	7,4	49,0	9,1	79,5
	Ja (ner)	81,1	7,8	9,1	80,2	12,0	81,5
Nr 3: Väg 66 stålslagg: vägkropp + beläggning	nej	50,0	4,1	13,5	48,0	14,1	73,6
	Ja (upp)	22,4	2,7	14,5	16,9	14,8	48,7
Nr 4: Väg 66 stålslagg: vägkropp	nej	49,5	3,9	13,8	47,4	14,3	73,2
	Ja (upp)	21,4	6,3	8,6	18,6	10,7	60,1
Nr 5: Väg 50 stålslagg: saknas	nej	49,6	9,6	9,1	47,8	13,2	74,6
	Ja (upp)	23,2	10,6	10,0	18	14,6	50,9
Nr 6: Väg 50 stålslagg: beläggning	nej	50,4	2,9	13,9	48,4	14,2	73,6
	Ja (upp)	22,0	9,4	9,0	17,7	13,0	53,7

Tabell 2 Uppmätta och beräknade värden för F, X, Y, Z, H och I.

Det totala magnetfältet (F) är i princip lika stort vid samtliga mätpunkter när ingen ferritmagnet lagts till. Detta tyder på att förekomsten av stålslagg i beläggningen inte har någon större inverkan på magnetfältet. Fältmätningarna pekar också på att magnetfältet till största del har en vertikal riktning, d v s magnetfältet i z-led (Z) är betydligt större än det horisontella magnetfältet (H). Vad gäller H och inklinationsvinkeln (I) avviker värdena för mätpunkt 1 och 2 från de övriga mätpunkterna. Orsaken till den mindre fältstyrkan och den större vinkeln är oklar.

Ferritmagneten påverkar omgivningen genom att dess magnetfält ökar eller minskar det befintliga jordmagnetiska fältet. Vid mätpunkt 1 och 2 är ferritmagnetens fält riktat i samma riktning som jordens magnetfält i z-led (Z). Det får till följd att Z och F ökar med motsvarande styrka som ferritmagneten har. I detta fall innebär det en ökning på 29,3 respektive 31,2 μT , vilket ligger nära ferritmagnetens teoretiska värde på magnetfältet längs Z-axeln (30 μT). Det förhöjda magnetfältet i z-led (Z) blir således ca 78 till 80 μT .

Vid mätpunkt 3,4,5 och 6 är ferritmagneten vänd åt andra hållet och fältet riktat i motsatt riktning som jordens magnetfält i z-led (Z). Det får till följd att Z och F minskar med motsvarande styrka som ferritmagneten har. I detta fall innebär det en minskning på mellan 28,8 och 32,0 μT . Det reducerade magnetfältet i z-led (Z) blir således ca 17 till 18 μT .

6.2. Robusthet hos magneterna

Magnetfältet mättes första gången direkt efter att magneterna monterats på teststräckan i Fagersta 2015-05-05. Resultatet från denna mätning samt efterföljande mätning när vägen fått ny beläggning 2015-06-25 redovisas i tabell 3 och 4. För redovisning av samtliga mätvärden hänvisas till bilaga 1.

Magneter i körfältsmitt											
Mätthöjd 20 cm ovanför beläggning (30 cm ovanför magnet)											
Nr	Magnettyp (diameter x höjd)	Polaritet	Mätdatum 2015-05-05				Mätdatum 2015-06-25				Förändring i Z-led [μ T]
			Tot [μ T]	x-led [μ T]	y-led [μ T]	z-led [μ T]	Tot [μ T]	x-led [μ T]	y-led [μ T]	z-led [μ T]	
1	Ferrit 20x50 mm	nord upp	25	-9,4	8,6	-21,4	23,5	-9,7	9	-19,4	2
2	Ferrit 20x50 mm	nord upp	26,4	-9,6	9,3	-22,5	25,6	-11,7	11,2	-20,2	2,3
3	Ferrit 20x50 mm	nord upp	26,5	-10,6	8,9	-22,6	2701	-14,9	9,6	-20,6	2
4	Ferrit 20x50 mm	nord upp	26,3	-9,5	10,7	-21,9	22,7	-6,2	8	-20,2	1,7
5	Neodymium 20x10 mm	nord upp	33,1	-8,1	12,2	-29,7	33	-12,7	10	-28,5	1,2
6	Neodymium 20x10 mm	nord upp	33,2	-8,2	12,4	-29,7	31,2	-11,5	8,4	-27,6	2,1
7	Neodymium 20x10 mm	nord upp	31,4	-6,8	11,1	-28,8	30,1	-10	10,7	-26,2	2,6
8	Neodymium 20x10 mm	nord upp	31,3	-9,8	11,4	-27,9	33,5	-15,6	10,9	-27,4	0,5
9	Neodymium 30x7 mm	nord upp	22,1	-9,4	8,5	-17,9	21,6	-10,1	1,1	-19,1	-1,2
10	Neodymium 30x7 mm	nord upp	21,9	-8,7	9,7	-17	20,7	-9,1	1	-18,4	-1,4
11	Neodymium 30x7 mm	nord upp	23,4	-9,1	10,8	-18,8	22	-11,7	2,3	-18,5	0,3
12	Neodymium 30x7 mm	nord upp	23,7	-8,7	11,9	-18,6	20,6	-11,5	5,2	-16,1	2,5
13	Ferrit 40x10 mm	nord upp	27,8	-7,4	11	-24,5	26,4	-7,7	2,9	-25,2	-0,7
14	Ferrit 40x10 mm	nord upp	28,7	-9,1	12,2	-24,4	26,7	-13,2	9,2	-22,1	2,3
15	Ferrit 40x10 mm	nord upp	26,5	-6,6	9,1	-24	26,1	-11,6	5,3	-22,8	1,2
16	Ferrit 40x10 mm	nord upp	29,7	-8,6	12,5	-25,4	28,9	-14,5	5,2	-24,4	1
17	Ferrit 40x20 mm	nord upp	18,5	-11,3	13,6	4,4	13,8	-12,9	3,4	3,4	-1
18	Ferrit 40x20 mm	nord upp	17,4	-11,7	12,5	2,8	7,9	-7,6	2,4	2,2	-0,6
19	Ferrit 40x20 mm	nord upp	15,6	-10,4	11,5	1,7	12,6	-12,2	2,9	1,3	-0,4
20	Ferrit 40x20 mm	nord upp	12,8	-7,8	9,5	3,3	19,9	-19,1	5,5	1,1	-2,2
21	Ferrit 40x40 mm	nord upp	54,3	-17,1	17,5	48,5	57,5	-22	-3	53,1	4,6

Tabell 3 Uppmätt magnetfält för magneter i körfältsmitt före och efter beläggningsåtgärd samt förändring i z-led.

Magneter i kantlinje											
Mätthöjd 20 cm ovanför beläggning (30 cm ovanför magnet)											
Nr	Magnettyp (diameter x höjd)	Polaritet	Mätdatum 2015-05-05				Mätdatum 2015-06-25				Förändring i Z-led [μ T]
			Tot [μ T]	x-led [μ T]	y-led [μ T]	z-led [μ T]	Tot [μ T]	x-led [μ T]	y-led [μ T]	z-led [μ T]	
1	Ferrit 20x50 mm	nord upp	26,3	-11,3	8,7	-22,2	25,1	-15,8	3,9	-20,6	1,6
2	Ferrit 20x50 mm	syd upp	78,6	-5,3	15,2	-77,1	82,7	-10,1	9,4	-81,6	-4,5
3	Ferrit 20x50 mm	nord upp	24,5	-8,7	9,6	-20,9	25,1	-11	10,7	-19,1	1,8
4	Ferrit 20x50 mm	syd upp	77,7	-4,6	12,8	-76,6	83,1	-11,8	9	-81,8	-5,2
5	Neodymium 20x10 mm	nord upp	31,8	-7,7	10,2	-29	32,3	-13,1	9,3	-28,1	0,9
6	Neodymium 20x10 mm	syd upp	71,3	-6,1	14,9	-69,5	73,5	-8,7	18	-70,5	-1
7	Neodymium 20x10 mm	nord upp	31,5	-7,5	14,3	-27	30,7	-9,5	2,8	-26,3	0,7
8	Neodymium 20x10 mm	syd upp	72,4	-7,4	15,6	-70,5	75	-10,1	14,8	-72,9	-2,4
9	Neodymium 30x7 mm	nord upp	21,6	-10,3	12,3	-14,6	21	-5,9	4	-19,7	-5,1
10	Neodymium 30x7 mm	syd upp	81,5	-3,7	13,9	-80,3	86,1	-11,1	24	-82,1	-1,8
11	Neodymium 30x7 mm	nord upp	22,8	-9,3	11,6	-17	17,4	-5	2,8	-16,4	0,6
12	Neodymium 30x7 mm	syd upp	81,8	-2,9	16,9	-80	86,4	-14,1	24,4	-81,5	-1,5
13	Ferrit 40x10 mm	nord upp	27,9	-10,2	10,9	-23,5	25,3	-5,3	1,4	-24,5	-1
14	Ferrit 40x10 mm	syd upp	75,5	-4,4	13,9	-74,1	79,6	-13	15	-77	-2,9
15	Ferrit 40x10 mm	nord upp	27,7	-9,9	10,4	-23,8	26,2	-11,2	3	-23,4	0,4
16	Ferrit 40x10 mm	syd upp	76	-5,1	14,6	-74,6	78,8	-14,2	17,2	-75,4	-0,8
17	Ferrit 40x20 mm	nord upp	16,6	-12,4	11	1,5	13,9	-12,3	3	3,4	1,9
18	Ferrit 40x20 mm	syd upp	100,5	-1,4	16,9	-99,2	107,6	-7,8	24	-104	-4,8
19	Ferrit 40x20 mm	nord upp	11,1	-6,3	9,1	-0,1	23,1	-21,8	7,7	-0,8	-0,7
20	Ferrit 40x20 mm	syd upp	101,7	-1,1	15,4	-100,7	109,4	-12,5	25,2	-105	-4,3
21	Ferrit 40x40 mm	nord upp	49,9	-11,9	5,1	48,1	56,9	6,7	-17,5	54,2	6,1

Tabell 4 Uppmätt magnetfält för magneter i kantlinje före och efter beläggningsåtgärd samt förändring i z-led.

Förändringen hos magnetfältstyrkan i z-led efter att vägen blivit fräst och fått ny beläggning är liten, vilket innebär att magneterna inte tagit skada av tryck och vibrationer från vägunderhållsmaskiner. Att magnetfältstyrkan skiljer sig lite från första mätningen beror troligtvis inte på att magneterna påverkats,

utan att mätpositionen skiljt sig något mellan mättillfällena. Enligt ekvation 6 och figur 9 innebär en förändrad mäthöjd från 30 till 31 cm en skillnad i magnetfält på ca 3 μT .

6.3. Montering av magneter

Den metod som användes vid monteringen av magneter i Fagersta var anpassad för ett fåtal magneter och innebar flera enskilda moment som utfördes manuellt och var delvis tidskrävande. Kostnaden för monteringen i Fagersta uppgick till ca 600 SEK per magnet och en monteringstakt på ca 6 stycken per timme (1 borrhåstrustning + två personer).

En stor effektiviseringspotential finns i momenten utmärkning av borrhål samt fyllning av borrhål. Att använda flytande fyllningsmassa skulle kunna minska tidsåtgången något men måste ställas mot att priset på emulsionslösning är relativt högt jämfört med asfalt som användes i Fagersta. Troligtvis skulle kostnaden kunna minskas till 450-500 SEK per magnet. För att göra monteringen ännu billigare krävs andra tillvägagångssätt och en mer automatiserad process. Ett alternativ kan t ex vara att använda en maskin som stansar hålen istället för att borra vilket gör processen betydligt snabbare. Magneterna skulle kunna gjutas in i fyllningsmassan i förväg och maskinen trycker ner magneten och fyller hålet i ett moment. Med en liknande metod och stora volymer skulle kostnaden sannolikt komma ner till 100 SEK per magnet. Monteringsdjupet bör inte vara mindre än 10 cm för att säkerställa att fräsning vid ny beläggning inte kommer för nära magneten.

7. Sammanfattande slutsatser

Studien har syftat till att utreda om asfaltbeläggningen och dess sammansättning påverkar magnetfältet, hur robusta magneterna är samt hur en hållbar och kostnadseffektiv montering kan genomföras. Magnetfältsmätningar med olika beläggnings- och stenmaterial i laboratoriemiljö och i fält tillsammans med en större provmontering i Fagersta har visat följande:

- De beläggnings- och stenprover som studerats har inte haft någon påtaglig effekt på magnetfältet från en ferritmagnet. Det förefaller inte vara någon skillnad mellan olika bergarter eller stenstorlekar. Däremot kan det inte uteslutas helt att det kan förekomma andra stenmaterial med egenskaper som påverkar magnetfältet från en ferritmagnet.
- Stålslagg i beläggningen på väg 66 i Smedjebacken och väg 50 utanför Ludvika har ingen större inverkan på jordens magnetfält lokalt eller magnetfältet från en ferritmagnet.
- Tryck och vibrationer från vägunderhållsmaskiner i samband med fräsning och ny beläggning på provsträckan i Fagersta har inte reducerat magnetfältet hos magneterna i vägbanan.
- För att genomföra en snabb och kostnadseffektiv montering av magneter rekommenderas en mer automatiserad process. Ett förslag är att hålen stansas, magneterna gjuts in i fyllningsmassan i förväg och trycks därefter ner maskinellt i hålen.

8. Referenser

J. Steverud, M.-O. Wessman and F. Santandrea, "Vehicle Positioning with Magnets in a Carriageway", ÅF AB, Gothenburg, Document number 312, Revision 9

National Geophysical Data Center. Hämtad 2015-03-20 från <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geomaginfo.shtml>

British Geological Survey. Hämtad 2015-03-20 från http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/earthmag.html#_Toc2075554

IGRF-12 Magnetic field calculator. Hämtad 2015-03-20 från http://geomag.nrcan.gc.ca/calc/mfcal-r-eng.php?date=2015-03-24&latitude=59.32893&latitude_direction=1&longitude=18.06491&longitude_direction=1

Supermagnete. Hämtad 2015-03-20 från <http://www.supermagnete.de/eng/faq/How-do-you-calculate-the-magnetic-flux-density>

Bilaga 1 - Mätning av magnetfält provplats Fagersta

Ferrite diameter 20 mm height 50 mm (5 magnets 10 mm high linked together)



Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25

Magnetic field (height 20 cm) without magnet: Tot= 51,4 X= -6,2 Y= 13,5 Z= -49,0								Magnetic field (height 30 cm) without magnet: Tot= 51,1 X= -6,2 Y= 13,6 Z= -48,9							
20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm	
150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625
T: 25,5	T: 23,5	T: 38,9	T: 38,6	T: 26,4	T: 25,6	T: 39,0	T: 40,2	T: 26,5	T: 27,1	T: 39,1	T: 40,1	T: 26,3	T: 22,7	T: 39,1	T: 38,6
X: -9,4	X: -9,7	X: -8,6	X: -11,1	X: -9,6	X: -11,7	X: -8,8	X: -11,8	X: -10,6	X: -14,9	X: -8,8	X: -13,5	X: -9,5	X: -6,2	X: -8,1	X: -9,4
Y: 8,6	Y: 9,0	Y: 9,9	Y: 8,7	Y: 9,3	Y: 11,2	Y: 10,4	Y: 9,3	Y: 8,9	Y: 9,6	Y: 10,4	Y: 9,0	Y: 10,7	Y: 8,0	Y: 10,9	Y: 8,5
Z: -21,4	Z: -19,4	Z: -36,6	Z: -35,9	Z: -22,5	Z: -20,2	Z: -36,5	Z: -36,1	Z: -22,6	Z: -20,6	Z: -36,6	Z: -36,4	Z: -21,9	Z: -20,2	Z: -36,6	Z: -36,5

20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm	
150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625
T: 26,3	T: 25,1	T: 39,7	T: 38,8	T: 78,6	T: 82,7	T: 63,8	T: 65,0	T: 24,5	T: 25,1	T: 39,0	T: 37,3	T: 77,7	T: 83,1	T: 62,9	T: 64,8
X: -11,3	X: -15,8	X: -9,8	X: -13,8	X: -5,3	X: -10,1	X: -6,2	X: -11,2	X: -8,7	X: -11,0	X: -7,9	X: -11,5	X: -4,6	X: -11,8	X: -6,2	X: -10,5
Y: 8,7	Y: 3,9	Y: 10,2	Y: 8,2	Y: 15,2	Y: 9,4	Y: 12,5	Y: 10,0	Y: 9,6	Y: 10,7	Y: 10,6	Y: 9,0	Y: 12,8	Y: 9,0	Y: 11,7	Y: 9,7
Z: -22,2	Z: -20,6	Z: -37,0	Z: -36,2	Z: -77,1	Z: -81,6	Z: -62,2	Z: -63,3	Z: -20,9	Z: -19,1	Z: -36,4	Z: -34,3	Z: -76,6	Z: -81,8	Z: -61,5	Z: -63,2

Neodymium diameter 20 mm height 10 mm

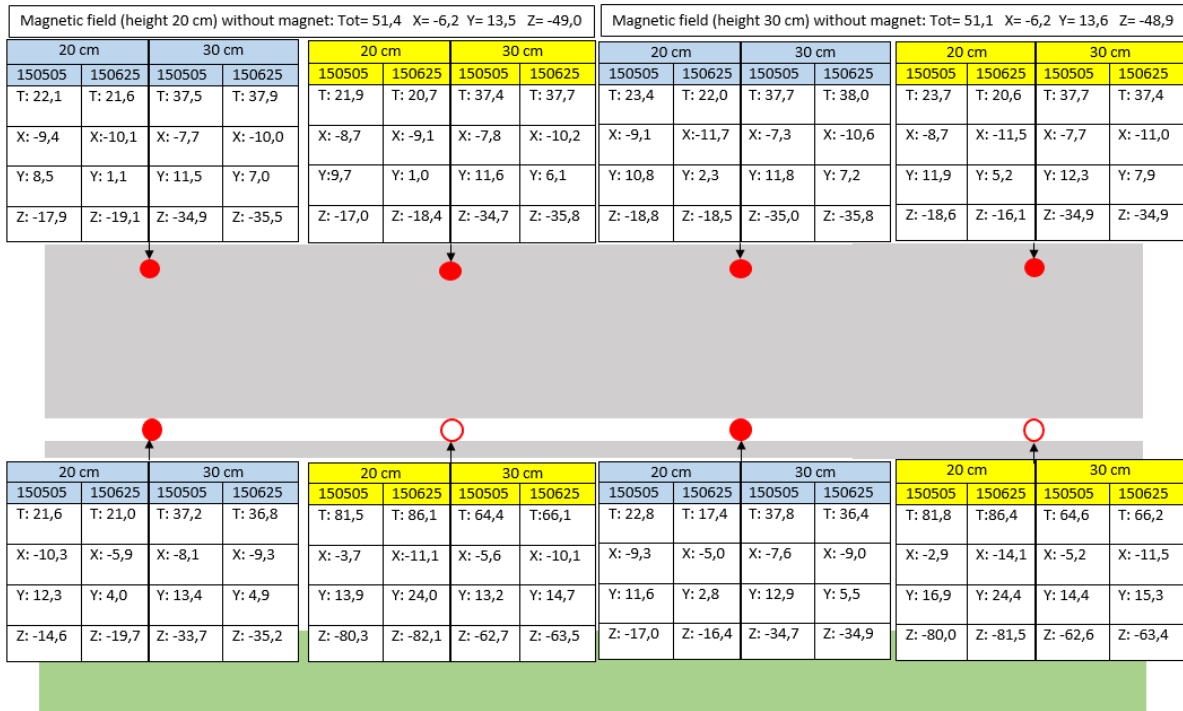
Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25

Magnetic field (height 20 cm) without magnet: Tot= 51,4 X= -6,2 Y= 13,5 Z= -49,0								Magnetic field (height 30 cm) without magnet: Tot= 51,1 X= -6,2 Y= 13,6 Z= -48,9							
20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm	
150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625
T: 33,1	T: 33,0	T: 42,6	T: 42,9	T: 33,2	T: 31,2	T: 42,1	T: 42,4	T: 31,4	T: 30,1	T: 41,8	T: 42,1	T: 31,3	T: 33,5	T: 42,4	T: 42,6
X: -8,1	X: -12,7	X: -7,8	X: -11,2	X: -8,2	X: -11,5	X: -7,2	X: -11,0	X: -6,8	X: -10,0	X: -6,8	X: -10,3	X: -9,8	X: -15,6	X: -9,0	X: -12,6
Y: 12,2	Y: 10,0	Y: 11,8	Y: 10,0	Y: 12,4	Y: 8,4	Y: 12,5	Y: 9,3	Y: 11,1	Y: 10,7	Y: 11,7	Y: 10,0	Y: 11,4	Y: 10,9	Y: 10,8	Y: 10,0
Z: -29,7	Z: -28,5	Z: -40,4	Z: -40,0	Z: -29,7	Z: -27,6	Z: -39,8	Z: -39,9	Z: -28,8	Z: -26,2	Z: -39,9	Z: -39,5	Z: -27,9	Z: -27,4	Z: -39,9	Z: -39,4

20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm		20 cm		30 cm	
150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625	150505	150625
T: 31,8	T: 32,3	T: 42,1	T: 41,3	T: 71,3	T: 73,5	T: 59,8	T: 60,3	T: 31,5	T: 30,7	T: 42,4	T: 40,1	T: 72,4	T: 75,0	T: 60,1	T: 60,7
X: -7,7	X: -13,1	X: -7,4	X: -11,4	X: -6,1	X: -8,7	X: -6,7	X: -10,2	X: -7,5	X: -9,5	X: -7,4	X: -10,0	X: -7,4	X: -10,1	X: -7,7	X: -11,2
Y: 10,2	Y: 9,3	Y: 11,0	Y: 9,3	Y: 14,9	Y: 18,0	Y: 13,0	Y: 12,5	Y: 14,3	Y: 2,8	Y: 13,8	Y: 6,2	Y: 15,6	Y: 14,8	Y: 13,4	Y: 11,1
Z: -29,0	Z: -28,1	Z: -40,0	Z: -39,4	Z: -69,5	Z: -70,5	Z: -58,0	Z: -58,0	Z: -27,0	Z: -26,3	Z: -39,3	Z: -38,3	Z: -70,5	Z: -72,9	Z: -58,1	Z: -58,4

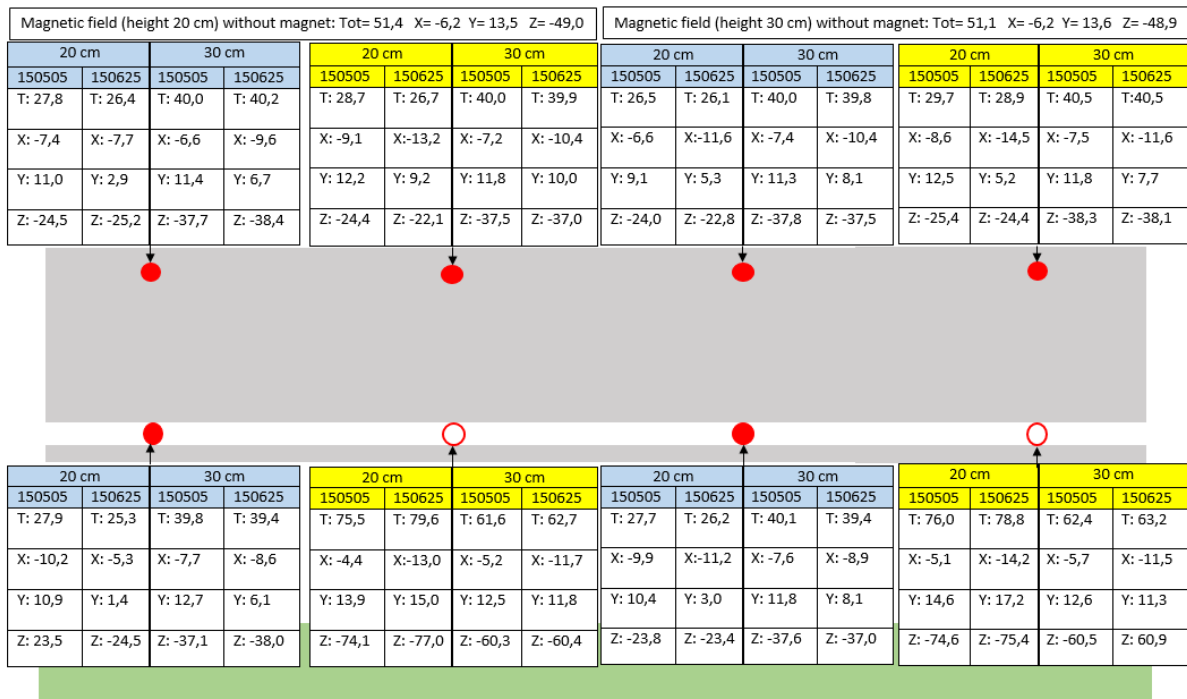
Neodymium diameter 30 mm height 7 mm

Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25



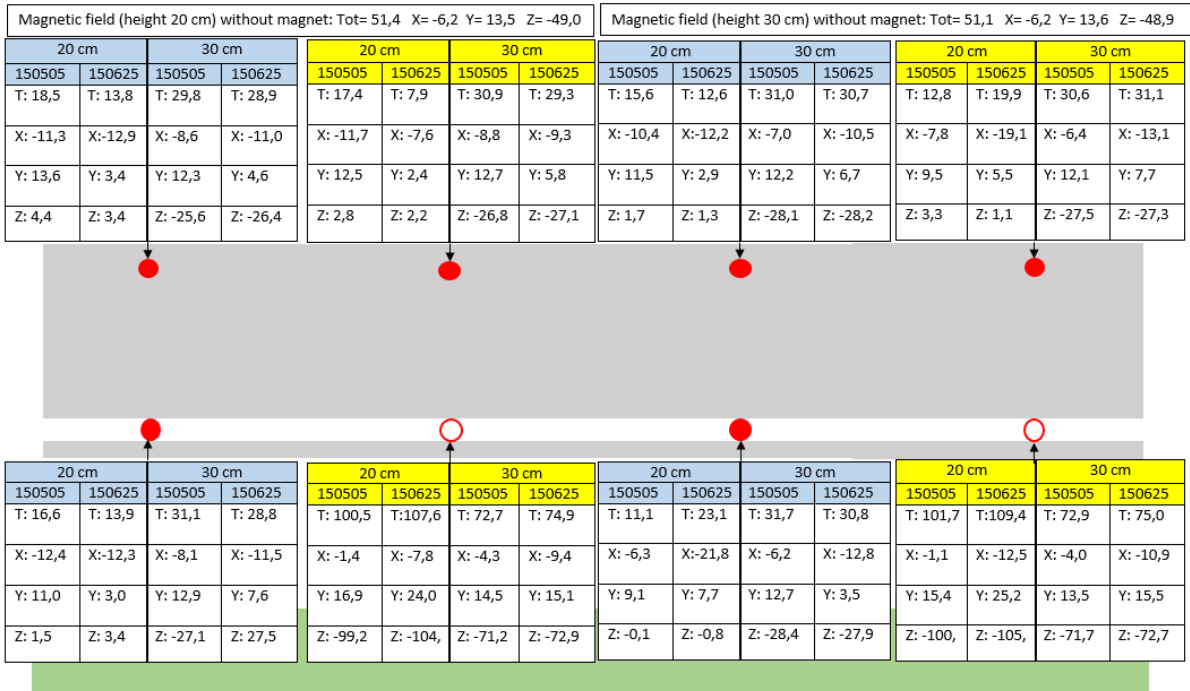
Ferrite diameter 40 mm height 10 mm

Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25



Ferrite diameter 40 mm height 20 mm

Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25



Ferrite diameter 40 mm height 40 mm (2 magnets 20 mm high linked together)

Measurements performed at 20 and 30 cm above road surface (corresponds to 30 and 40 cm above magnet) 2015-05-05 and 2015-06-25





TRAFIKVERKET

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 99 97

www.trafikverket.se