SLU
SCIENCE AND EDUCATION FOR SUSTAINABLE LIFE

Konsekvenser av och åtgärder för att minska markpackningen

Thomas Keller och Loraine ten Damme
Institutionen för mark och miljö, SLU, Uppsala
thomas.keller@slu.se , loraine.ten.damme@slu.se

Följ oss på Twitter: @SoilManage_SLU

Jordarnas funktioner

Jordarna levererar ekosystemtjänster som möjliggör liv på jordklotet

2015 Internationella markåret
fao.org/soils-2015

Food and Agriculture Organization of the United Nations

with the support of
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Federal Department of Economic Affairs, Education and Research EAER
Federal Office for Agriculture FOAG

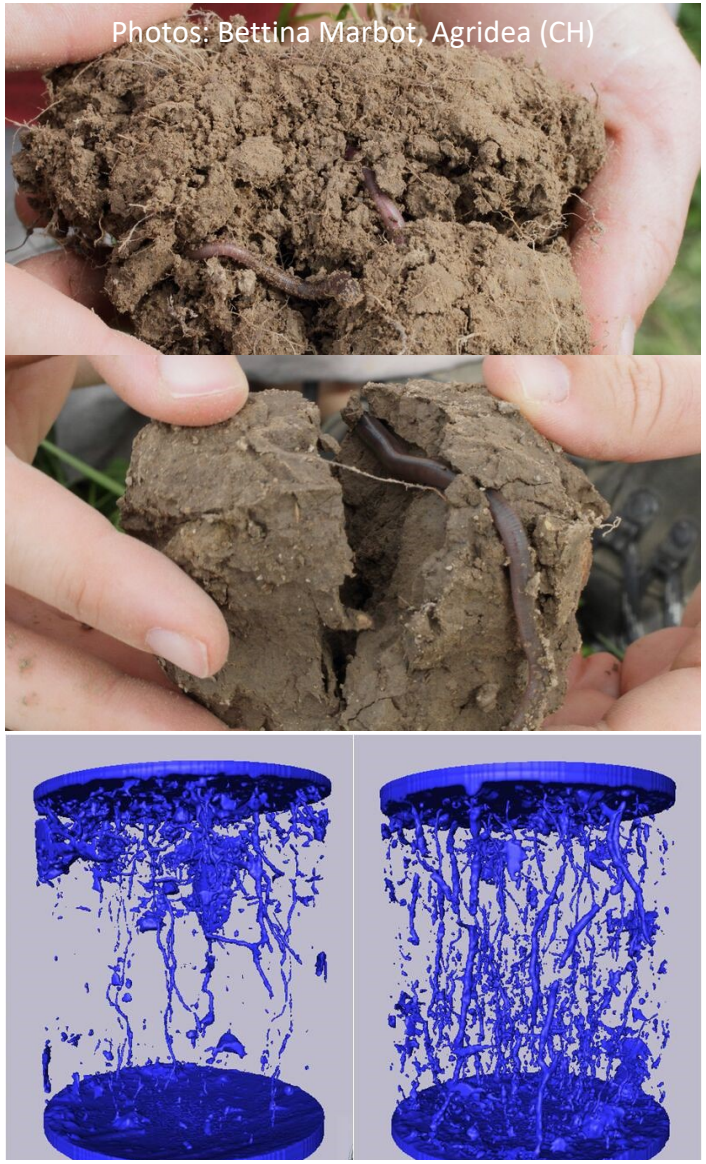
Markstruktur – varför är markstrukturen viktig?

Markstruktur har två viktiga komponenter (e.g. Kay, 1990, *Adv. Soil Sci*. 12):

- **Form:** geometrisk arrangemang av håligheter (markporer) och partiklar
- **Stabilitet:** förmågan att motstå en belastning

Markstruktur:

- Bestämmer markens hydrauliska egenskaper (vattenhållande förmåga, genomsläpplighet) och gas-transport egenskaper
- Kontrollerar det mekaniska motståndet för rötter och markfauna (daggmaskar, *etc*.)
- Formar den fysikaliska livsmiljön för markorganismer



Visualiserade makroporer i jordkolonner (Lamandé *et al*. 2013 *Soil Sci*. 178)

Markstruktur: uppbyggnad och degradation

Tidsskalor: från sekunder (t.ex. markpackning, jordbearbetning) till decennier (t.ex. naturlig återhämntning efter packning)

Strukturuppbyggnande processer

Biologisk aktivitet / bio-fysikaliska interaktioner: rot-mark interaktioner, markorganismer (t.ex. bioturbation av daggmasker)

Uppblötnings-torknings-cyklar: klimat och vattenupptag av grödor

Processer som försämrar markstrukturen

Markpackning: en funktion av markegenskaper, markförhållanden (fuktighet) och belastningen (hjullast, *mm*.)

Erosion: vatten- och vinderosion

Processer som kan förbättra eller försämra markstrukturen, beroende på initiala markförhållanden

Jordbearbetning: sönderdelning av marken = *f* (markens fuktighet, …)

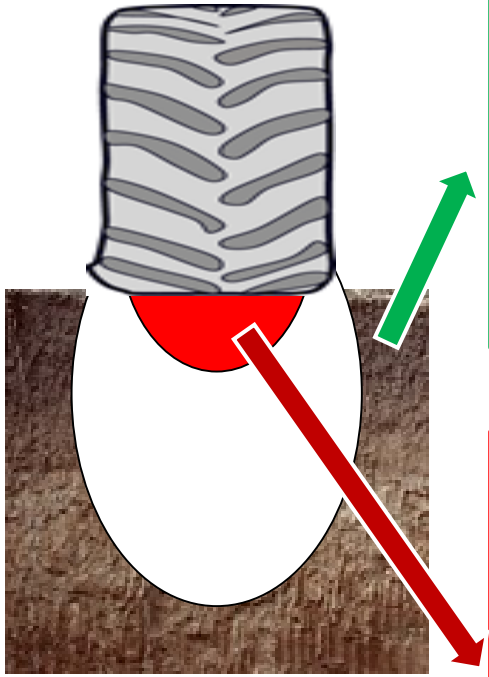
Tjäle och upptining: luckrar eller kompakterar jorden?

Adapted from: Vereecken *et al*., 2016. Modeling Soil Processes: Review, Key Challenges, and New Perspectives. *Vadose Zone J*. 15.

Markpackning: från marktryck till grödstress och ihållande förluster av ekosystemtjänster

Oldeman *et al*. 1991 (www.isric.org): ca. 68 Mha jordbruksmark allvarligt packningsskadad i världen (68 Mha ≈ ca. 1,5 × Sveriges yta)

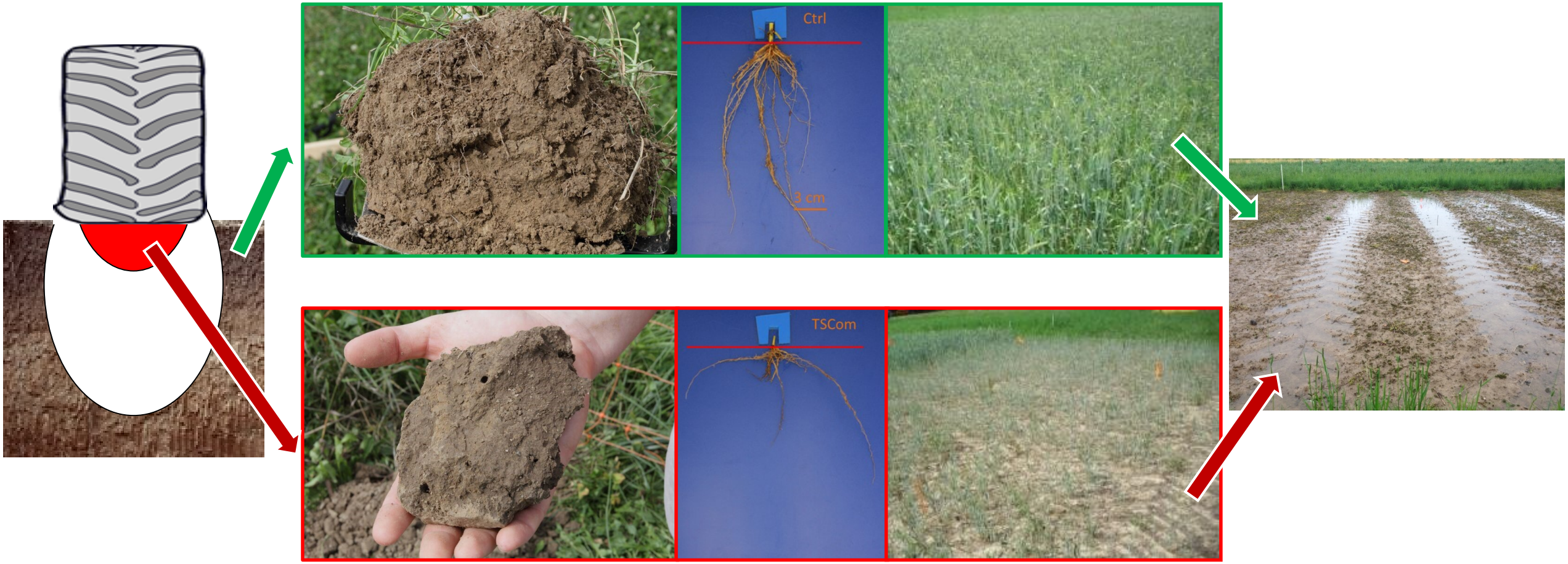
Schjønning *et al*. 2015 (*Adv. Agronom*. 133): en fjärdedel av jordbruksmarken i Europa är packningsskadad



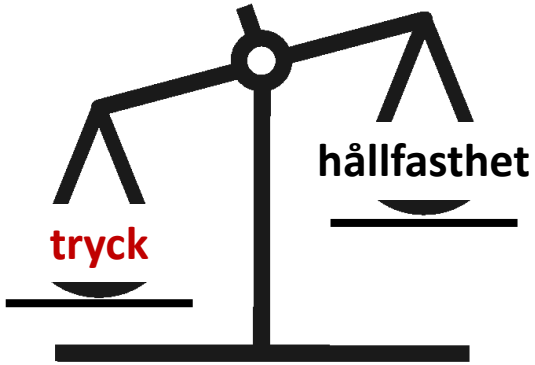
Markpackning: från marktryck till grödstress och ihållande förluster av ekosystemtjänster

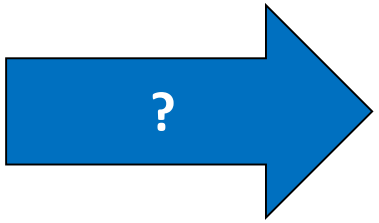
Oldeman *et al*. 1991 (www.isric.org): ca. 68 Mha jordbruksmark allvarligt packningsskadad i världen (68 Mha ≈ ca. 1,5 × Sveriges yta)

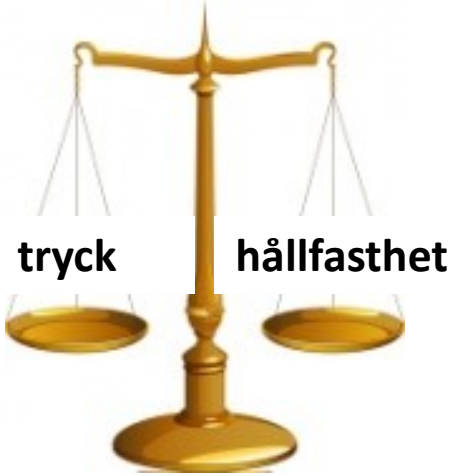
Schjønning *et al*. 2015 (*Adv. Agronom*. 133): en fjärdedel av jordbruksmarken i Europa är packningsskadad



Markpackning: balans mellan belastning (tryck som marken utsätts för) och motståndskraft (markens hållfasthet)



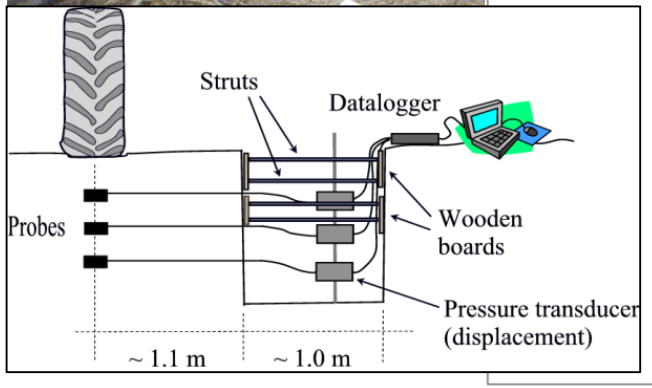


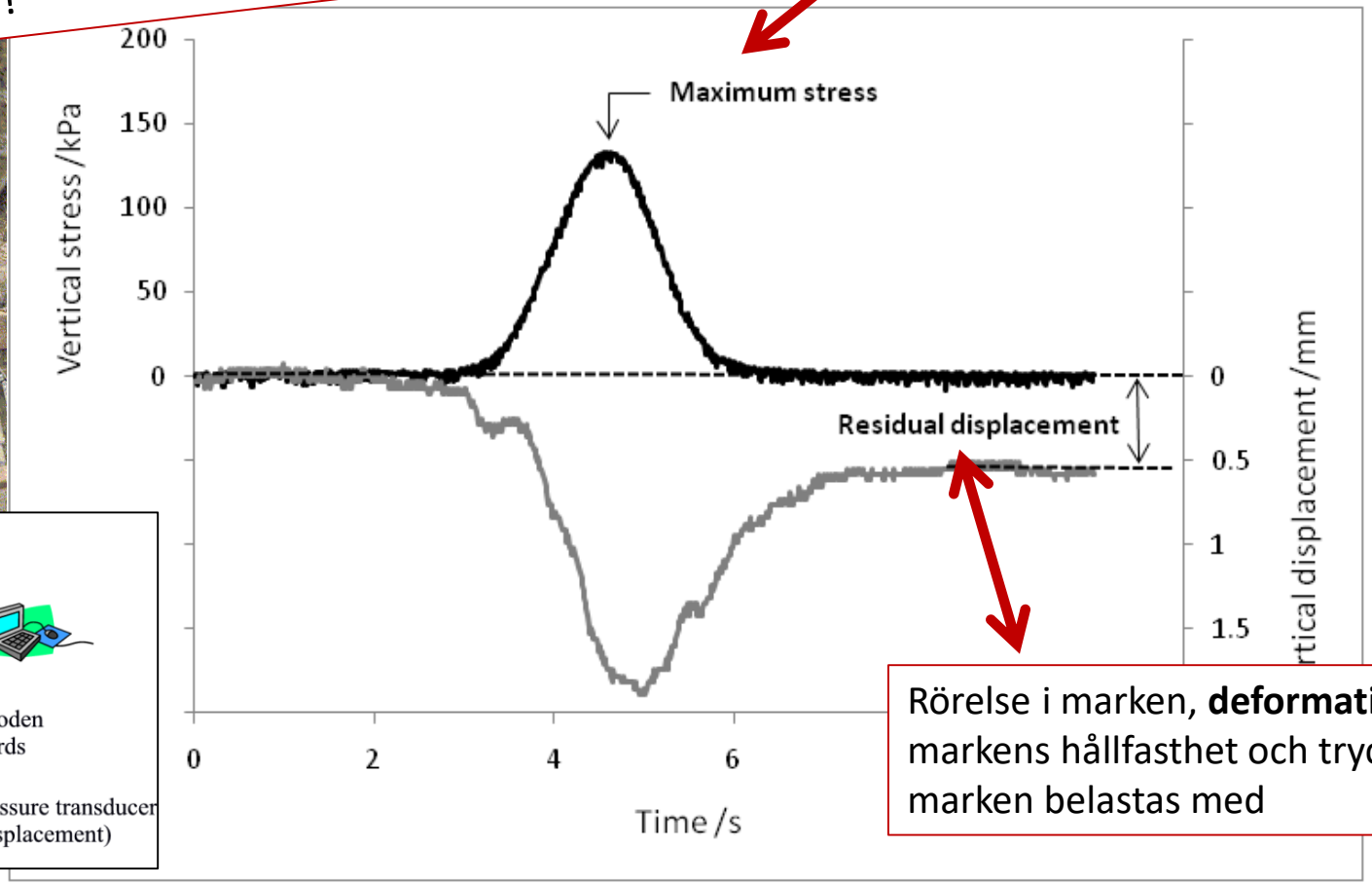


Vad händer i marken när vi kör på den?

Två viktiga frågor:
- Hur påverkas markens egenskaper och funktioner av deformation?
- Hur länge finnns effekterna kvar?

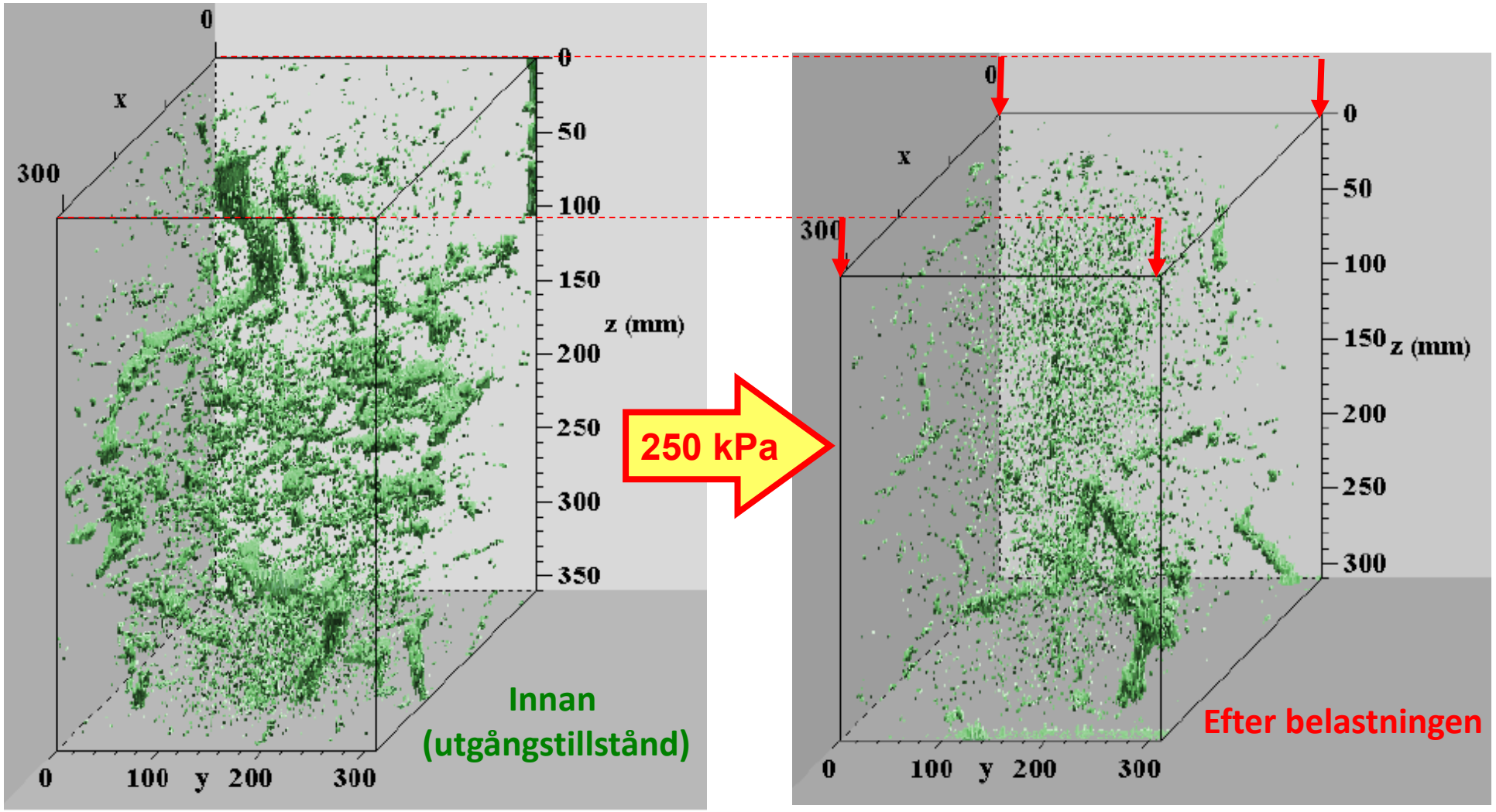
Tryck: beror främst på maskinegenskaper (hjullast, däck, ringtryck, …), men även på markens egenskaper och tillstånd





Rörelse i marken, **deformation**: beror på markens hållfasthet och trycket som marken belastas med

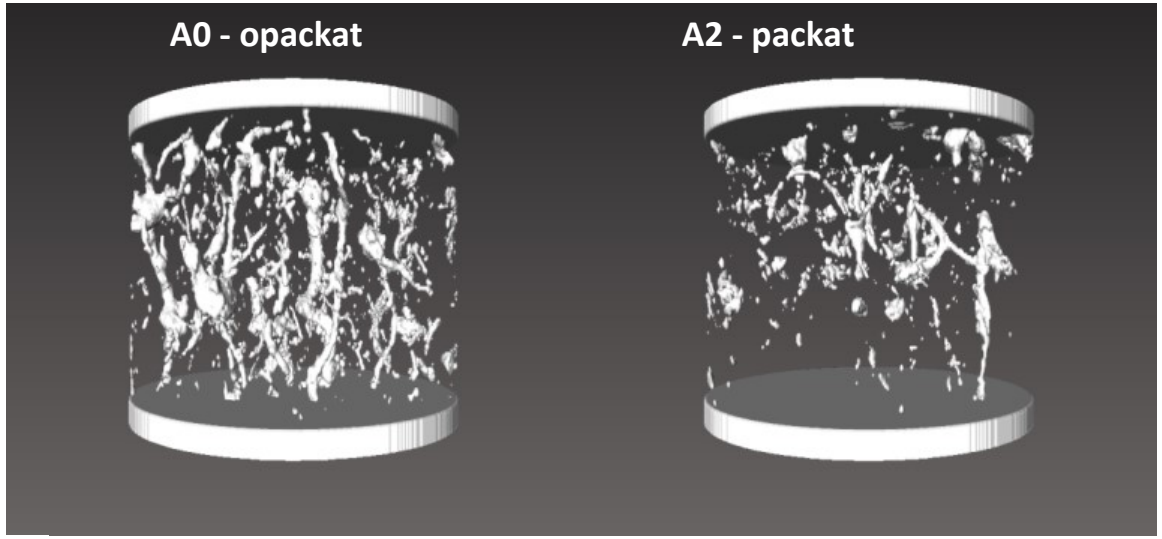
Vad händer när marken deformeras?

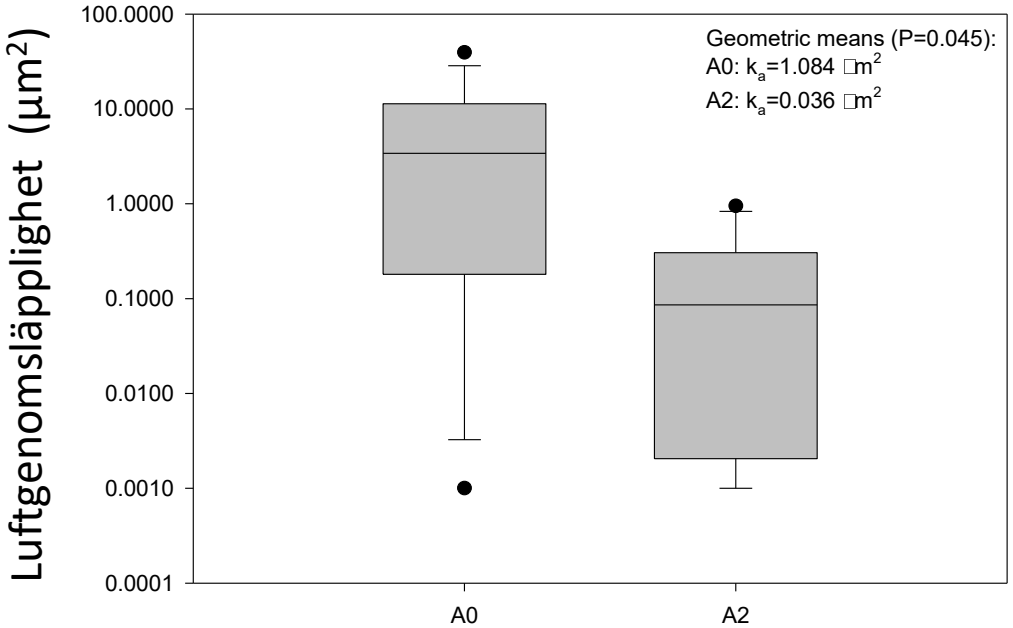


Jégou *et al.*, 2001. Impact of soil compaction on earthworm burrow systems using X-ray computed tomography: preliminary study. *European Journal of Soil Biology*, 38, 329-336.

Markstruktur 29 år efter packning

(Berisso *et al*. 2013, *Geoderma* 195-196, 184-191.)

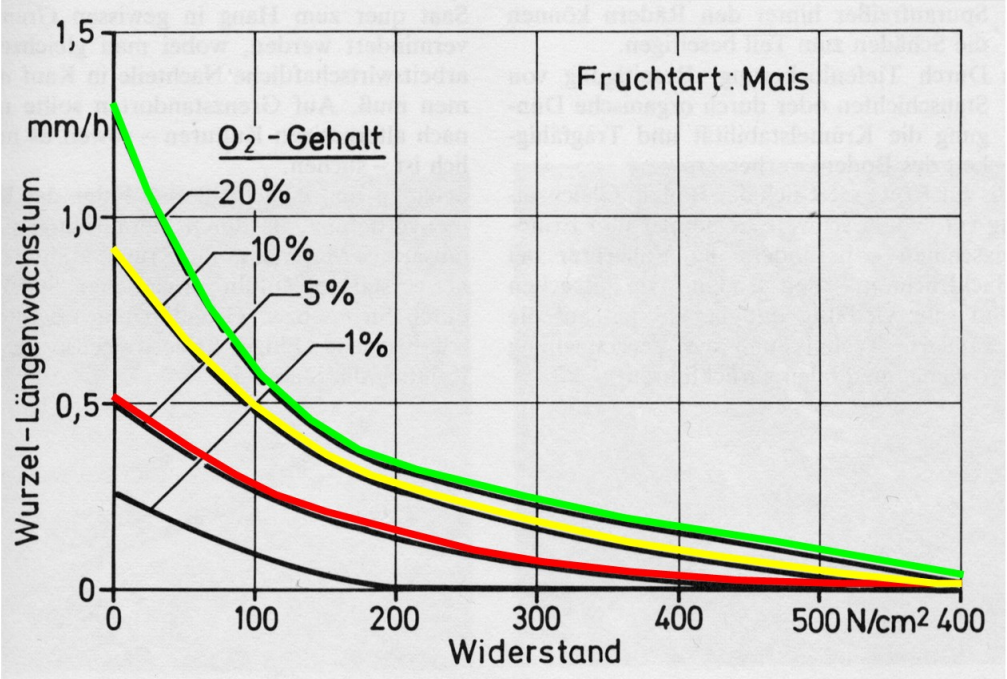




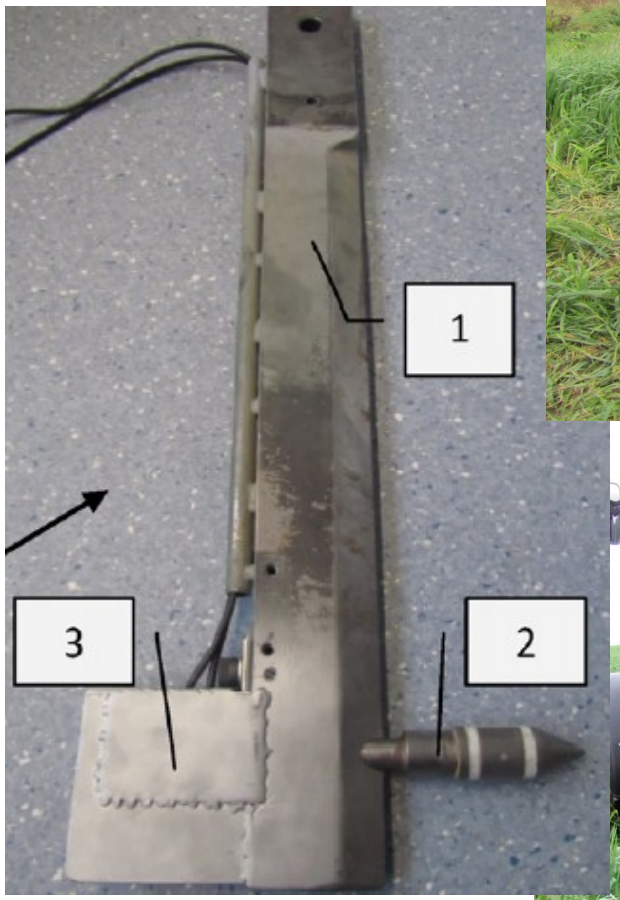
"Jokioinen (FIN) packningsexperimentet":

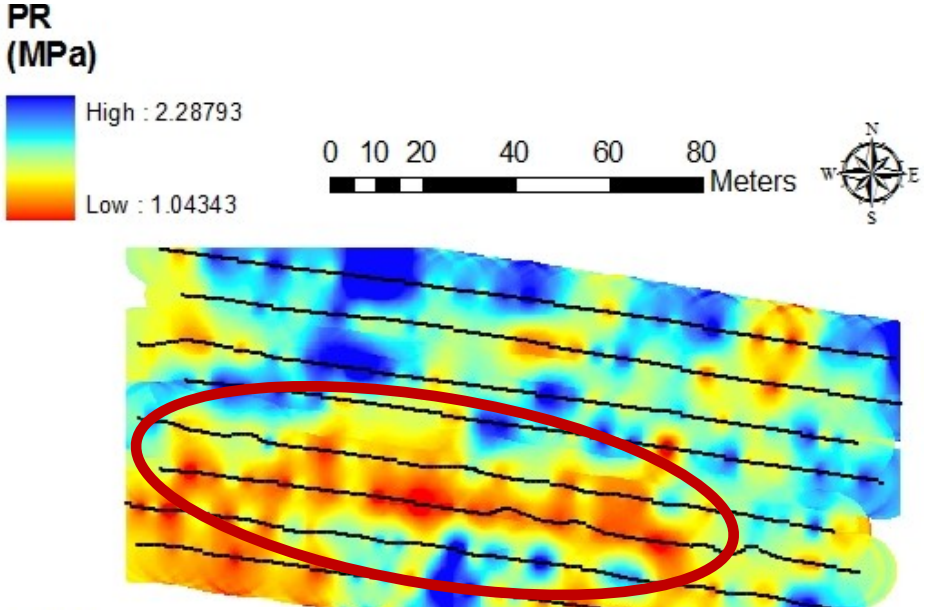
Makroporositet och luftgenomsläpplighet var fortfarande mycket lägre i packad mark tre decennier efter att packningen hade skett

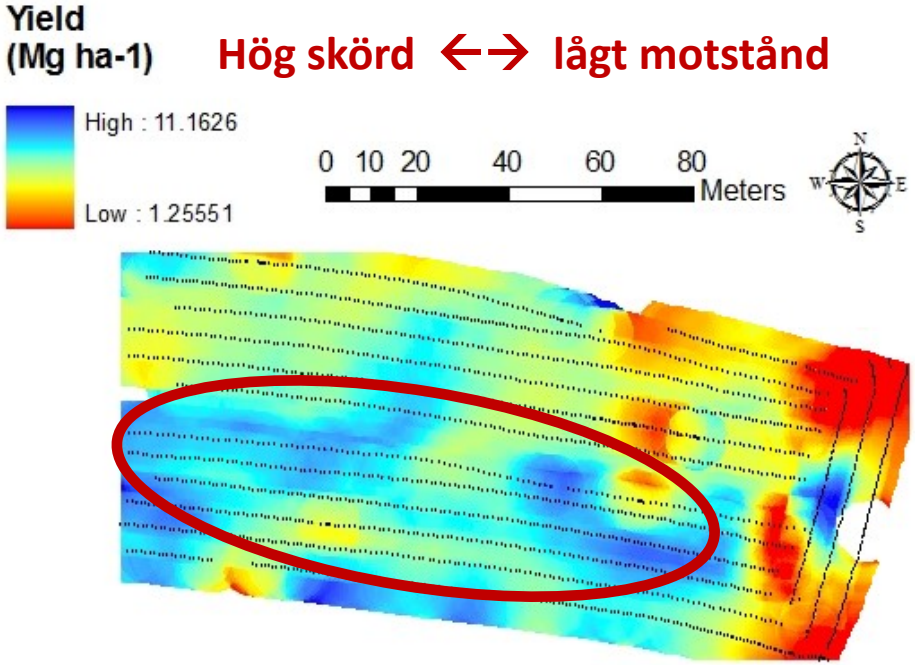
Ökat tryck i marken leder till ökad skrymdensitet, vilket leder till högre mekaniskt motstånd, vilket leder till minskat rottillväxt



Samband mekaniskt motstånd i marken och skörd





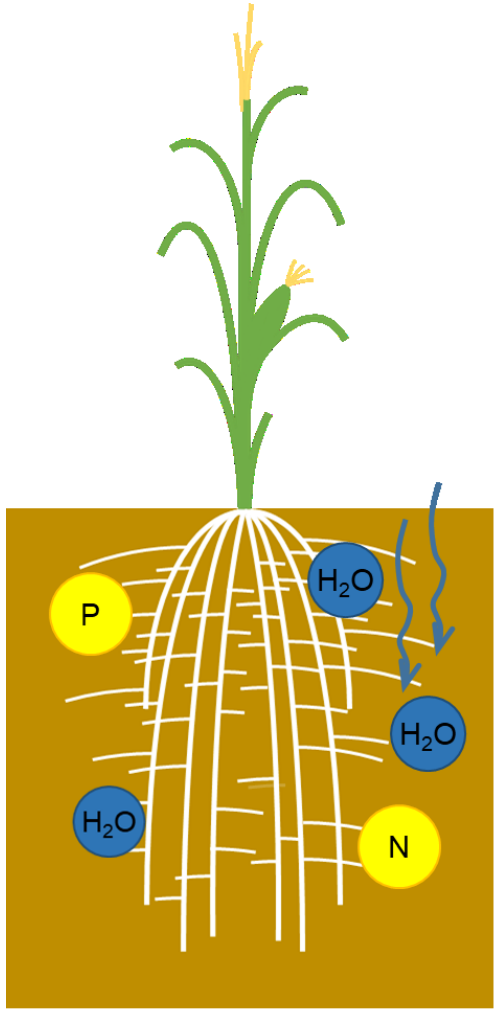


Hög skörd ←→ lågt motstånd

Naderi-Boldaji *et al*., 2013. Use of a triple-sensor fusion system for on-the-go measurement of soil compaction. *Soil & Tillage Research*, 128, 44-53.

Markpackningens effekter på grödtillväxt och andra processer och funktioner

Modiferad från: Colombi T. & Keller T., 2022. Effects of high soil density on soil functions and crop growth. In: Menzies N., Dalal R. & Dang Y. (eds.) *Soil Constraints to Crop Production*. Cambridge Scholar, *in progress*.



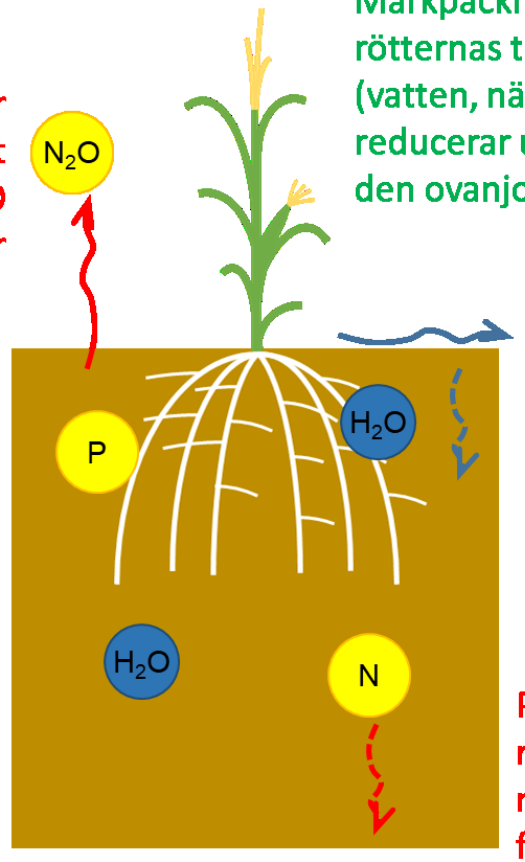
Opackat mark

Markpackning reducerar «markluftning», vilket ökar risken för N_2O emissioner

Markpackning reducerar rötternas tillgång till resurser (vatten, näring), vilket reducerar utvecklingen av den ovanjordiska biomassa

Packning reducerar infiltrationsförmågan, vilket ökar ytavrinning och risken för översvämning och erosion, och reducerar växttillgänglit vatten i markprofilen, vilket hämnar grödtillväxten

Markpackning hindrar rottillväxt pga syrebrist och högt mekaniskt motstånd, vilket reducerar kol-input till marken



Packning reducerar rötternas tillgång till näring, vilket ökar risken för N läkage

Packad mark

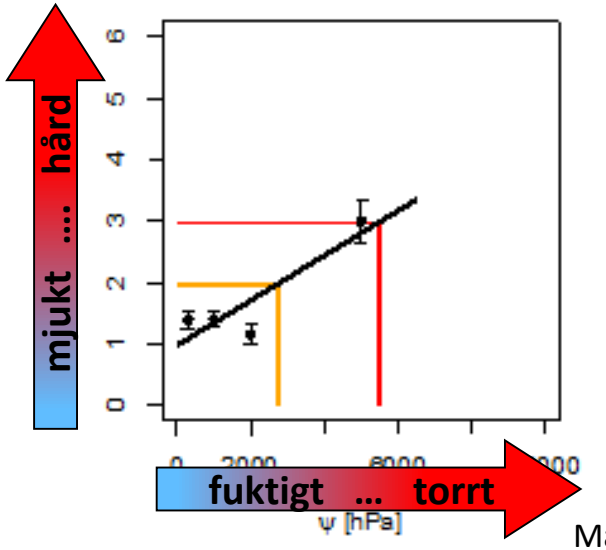
Grödtillväxt i packad mark Colombi *et al.*, 2018. *Sci. Tot. Environ.* 626.

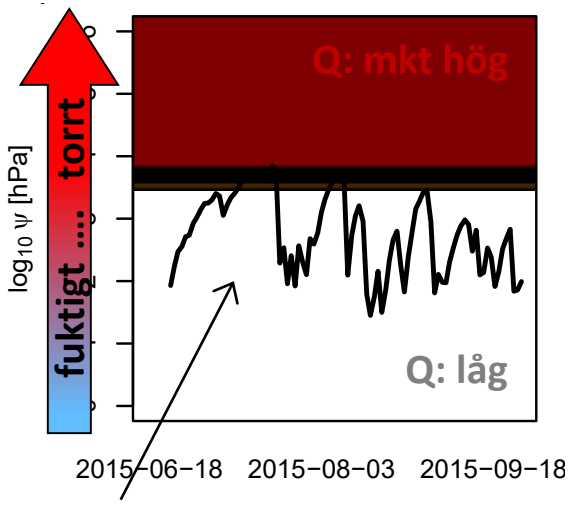
Markens mekansika motstånd, *Q*

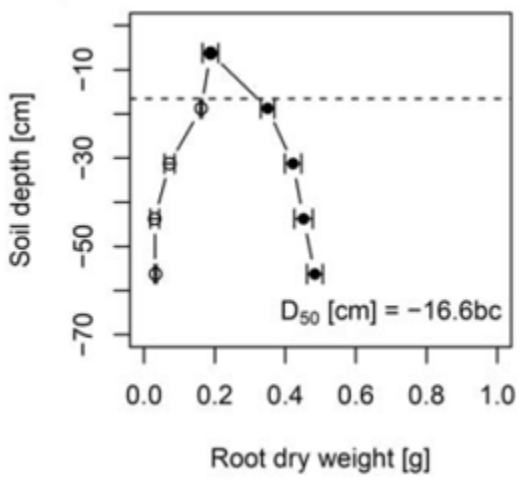
Markens fuktighet och *Q*, matjord

Rotbiomassa

Opackat, «bra» markstrktur

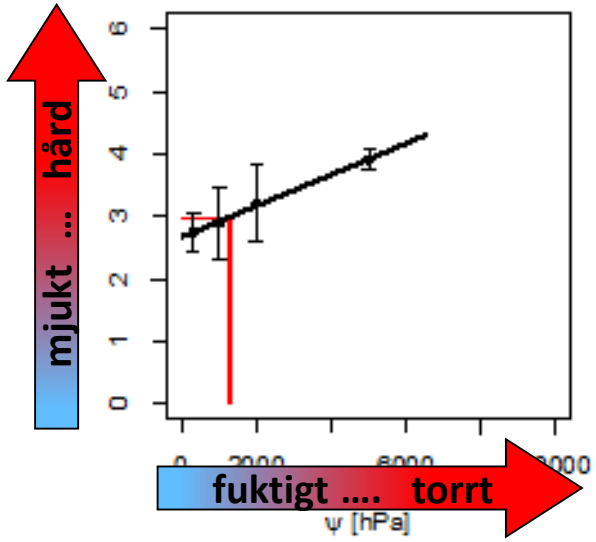


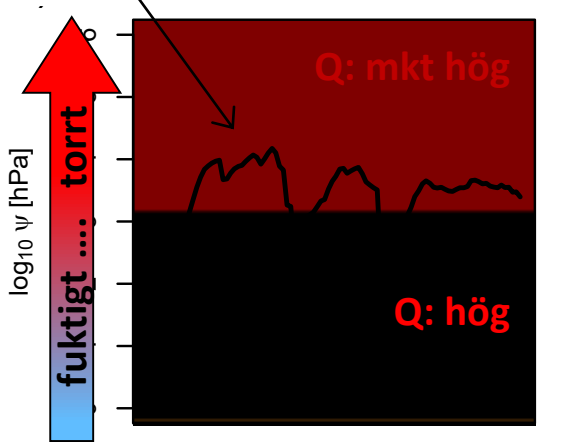


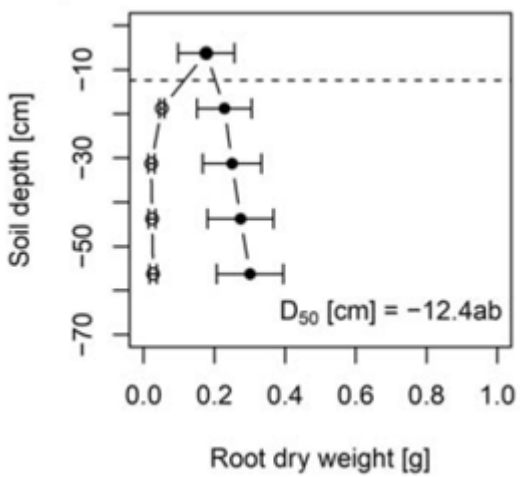


Markens fuktighet *f* (tid) Date

Packat, «dålig» markstruktur

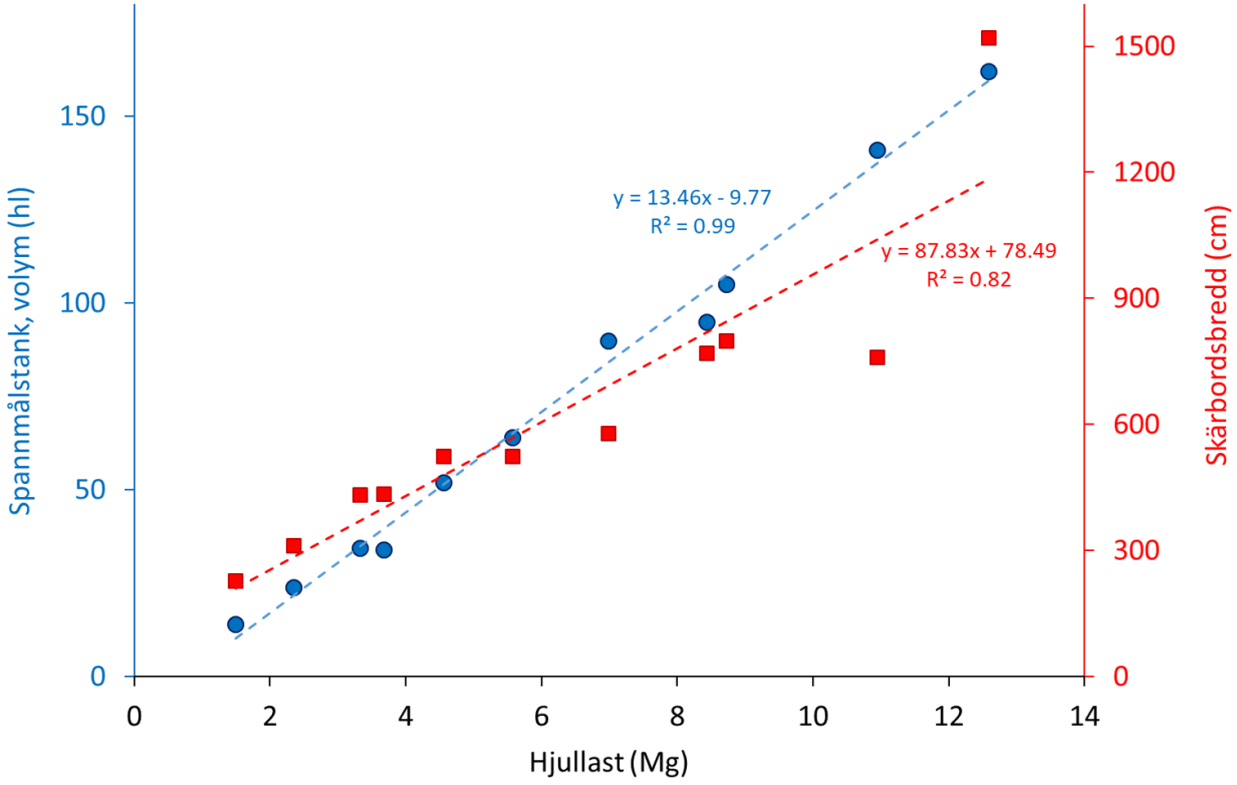


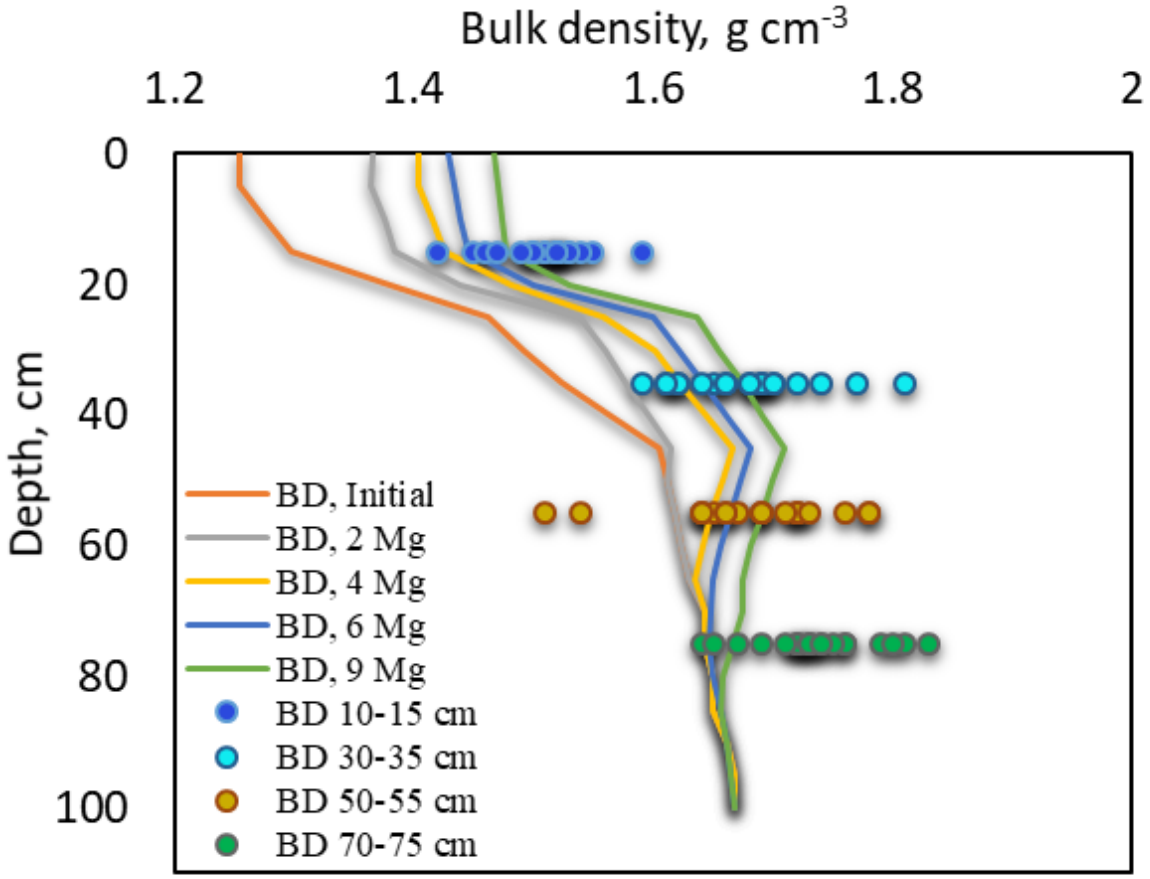




Samband mellan maskinkapacitet, hjullast och markpackning

Kapacitet skördetröska → hjullast
→ skrymdensitet i markprofilen
med hjälp av *SoilFlex* (Keller *et al*., 2007)

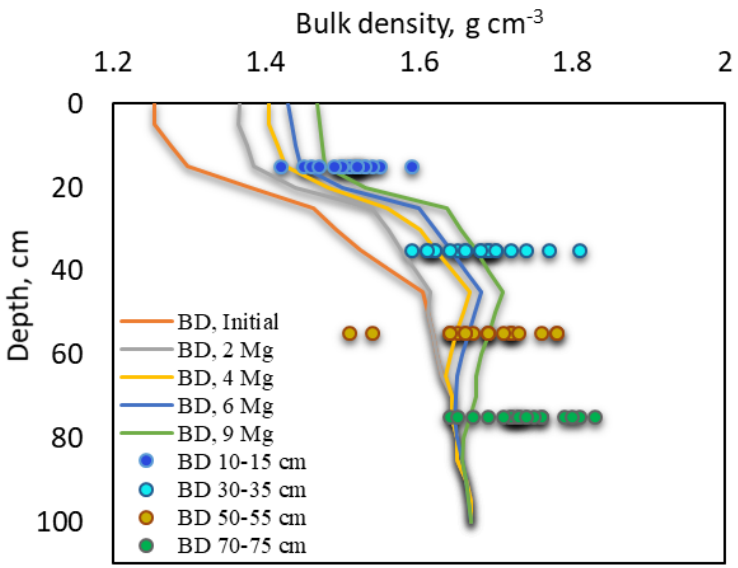


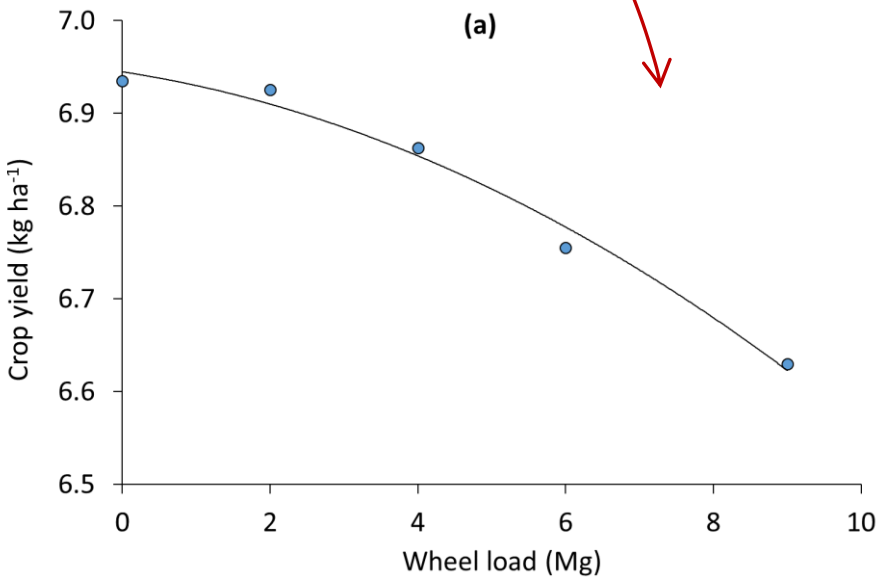


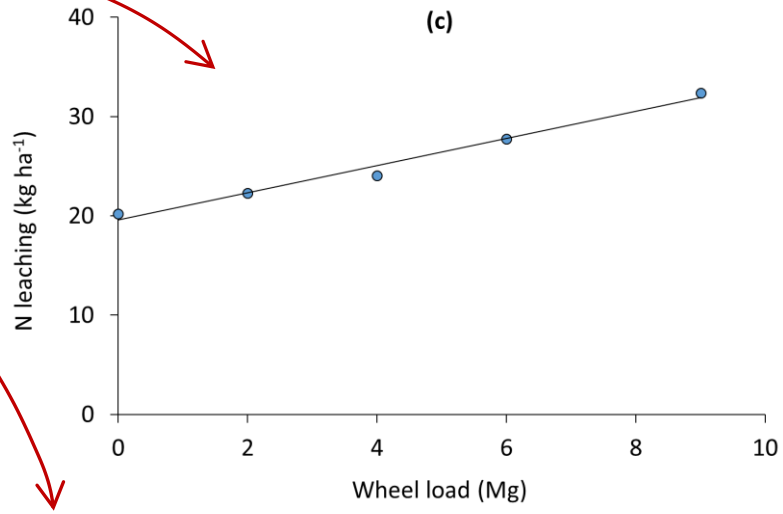
Parvin *et al*. (in preparation)

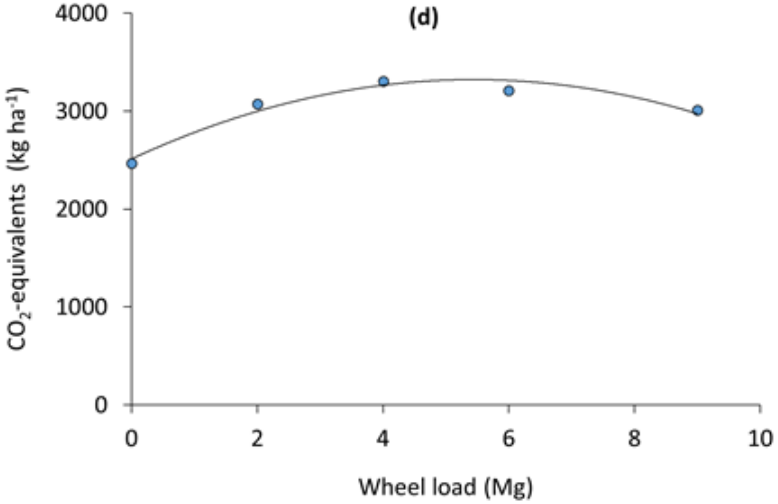
…och hur markpackning påverkar skörd, läckage och emissioner

Skrymdensitet → Skörd och «miljö-otjänster» (N läckage, växthusgasemissioner, ytavrinning) med hjälp av STICS (Brisson *et al*., 2008)





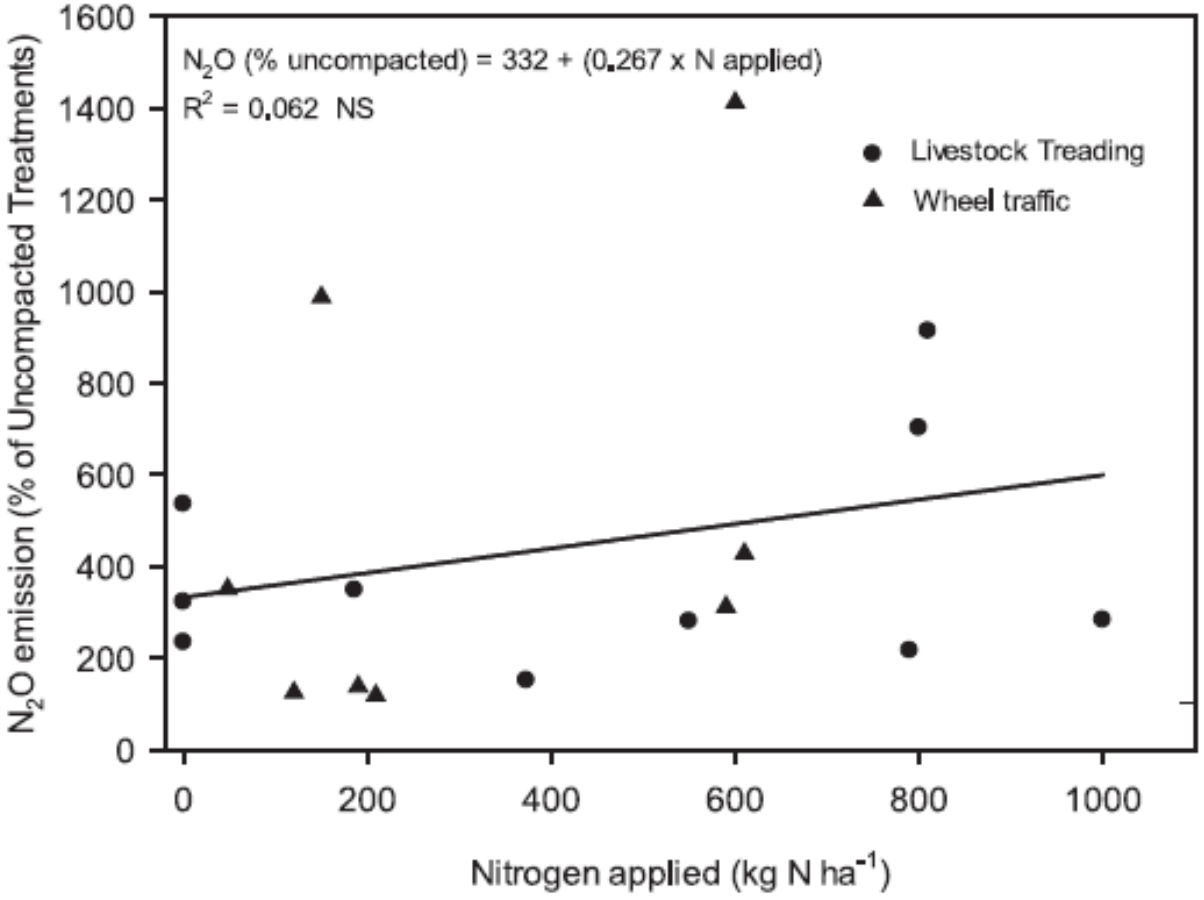




Parvin *et al*. (in preparation)

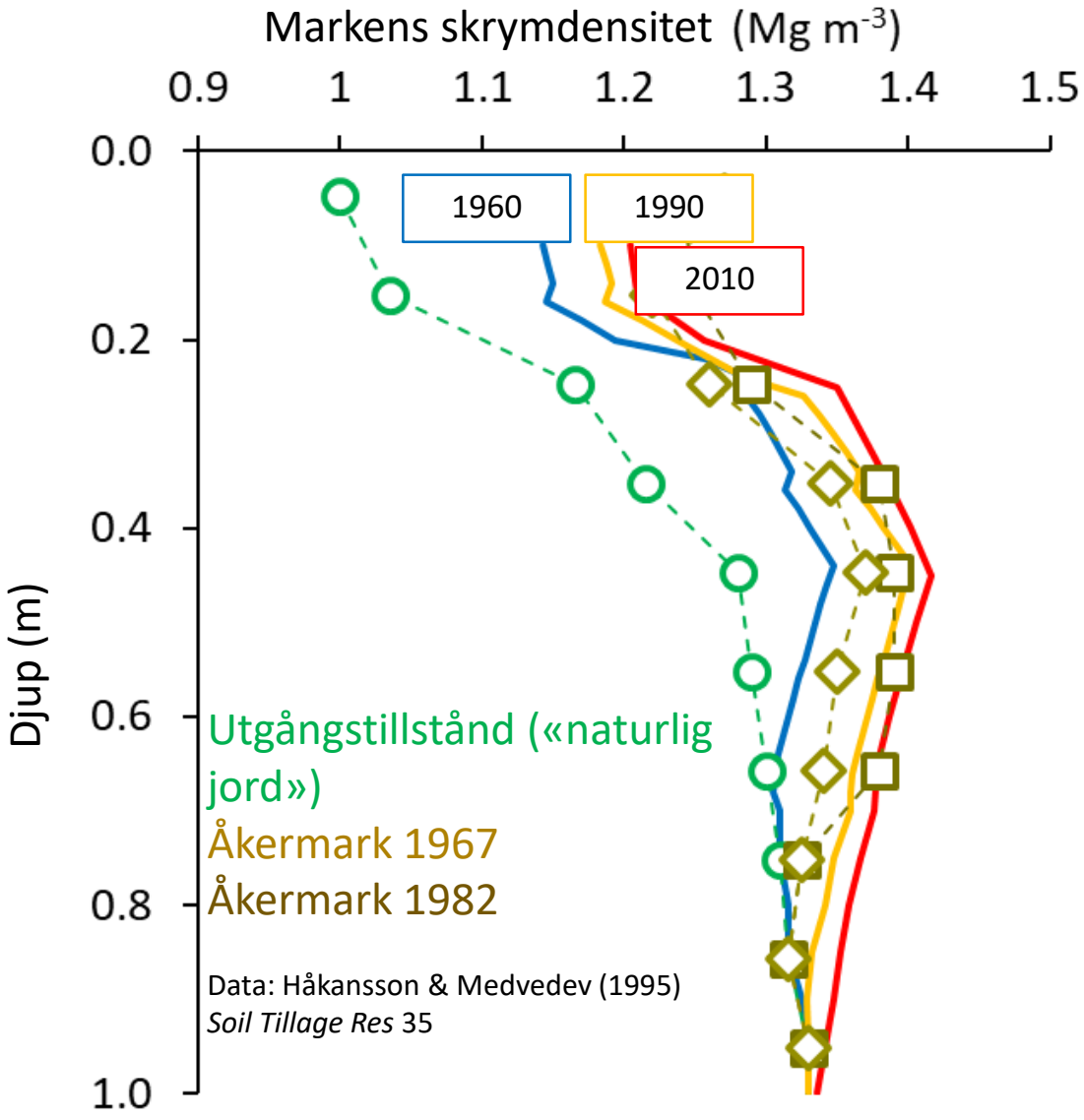
Markpackning och växthusgasemissioner

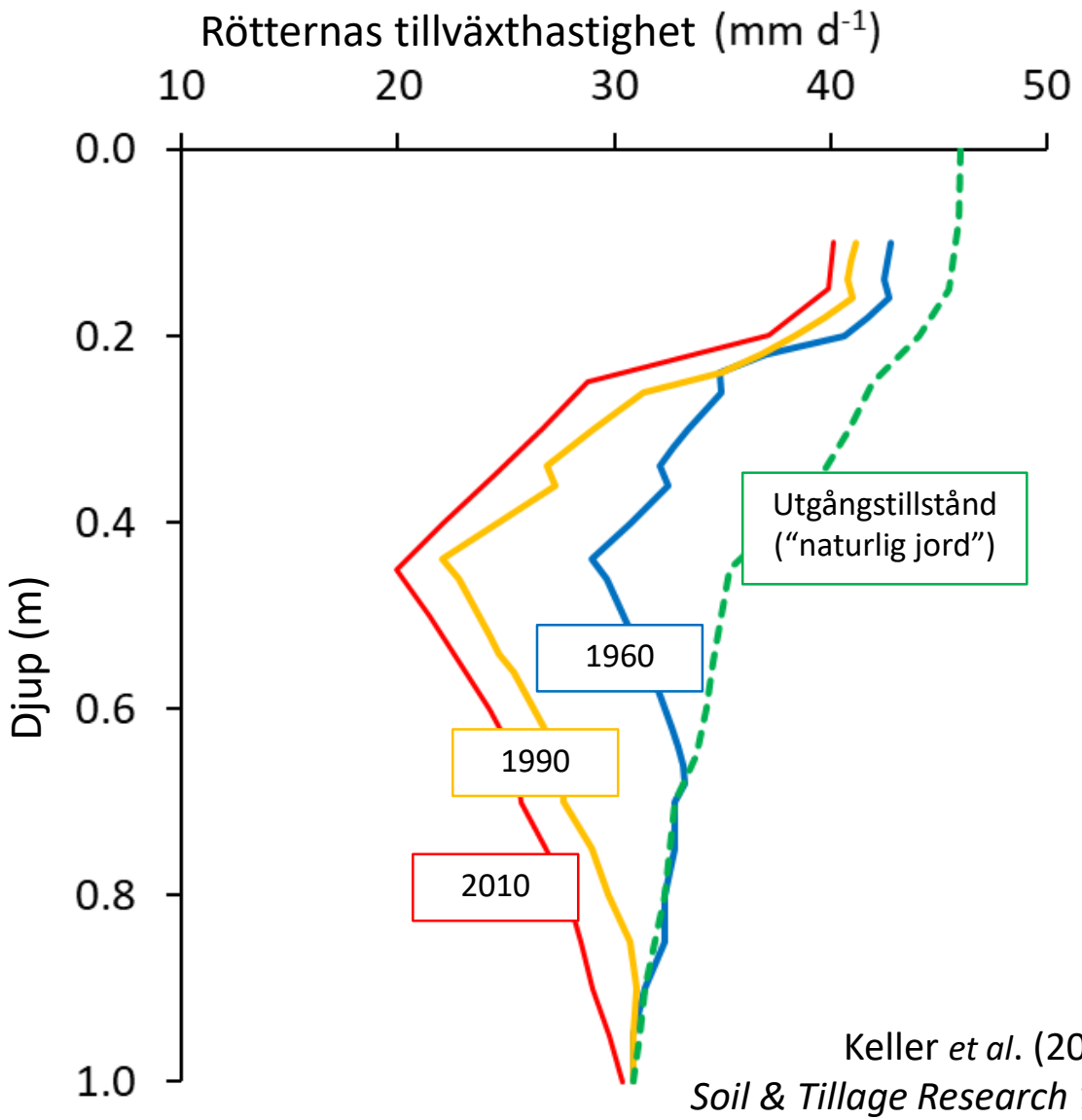
Relativa N_2O (lustgas) emissioner, packad/opackad (opackat = 100%)



Hu *et al*., 2021. Compaction induced soil structural degradation affects productivity and environmental outcomes: A review and New Zealand case study. *Geoderma*, 395, 115035.

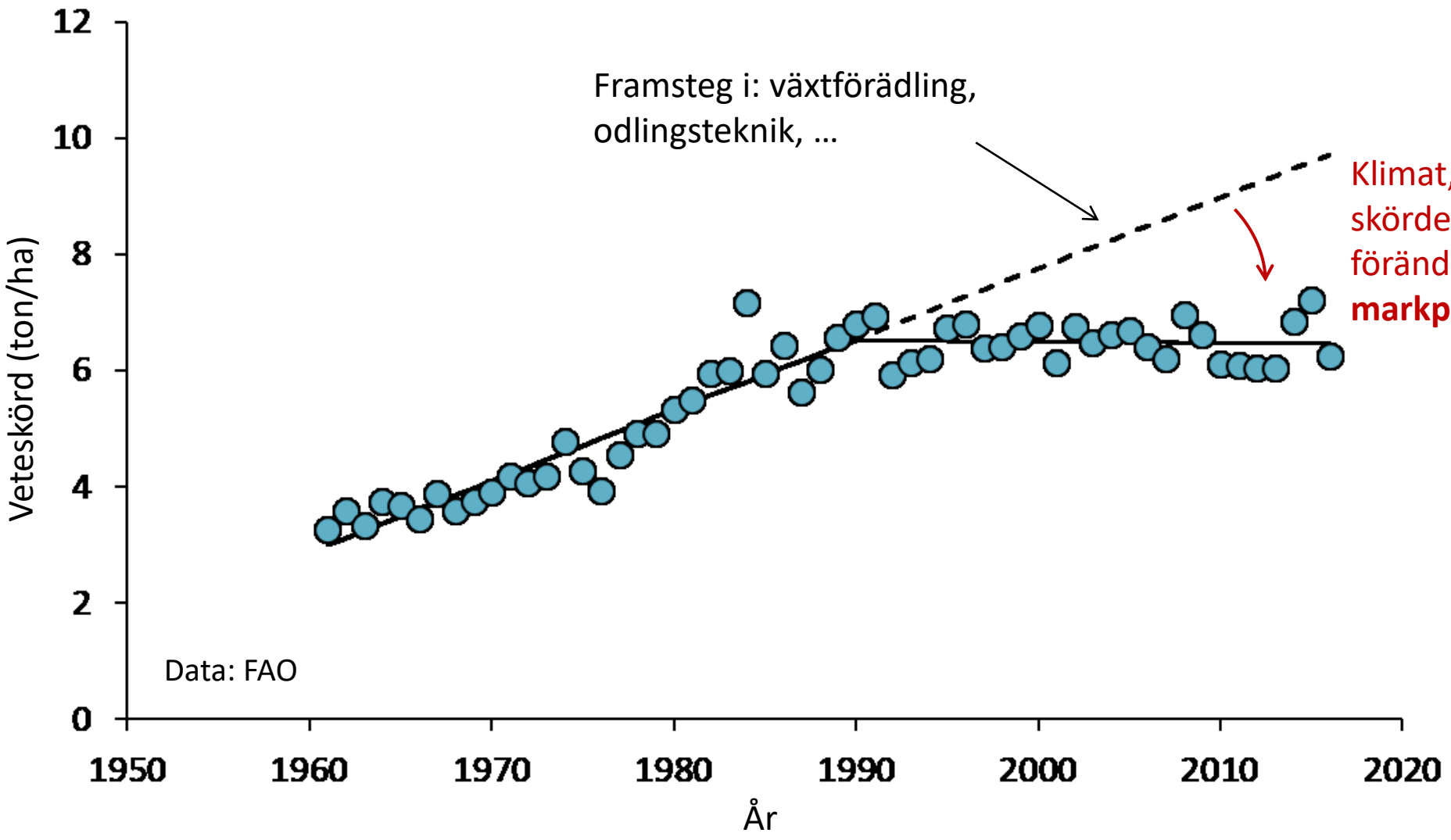
Ökat tryck i marken leder till ökad skrymdensitet, vilket leder till högre mekaniskt motstånd, vilket leder till minskat rottillväxt





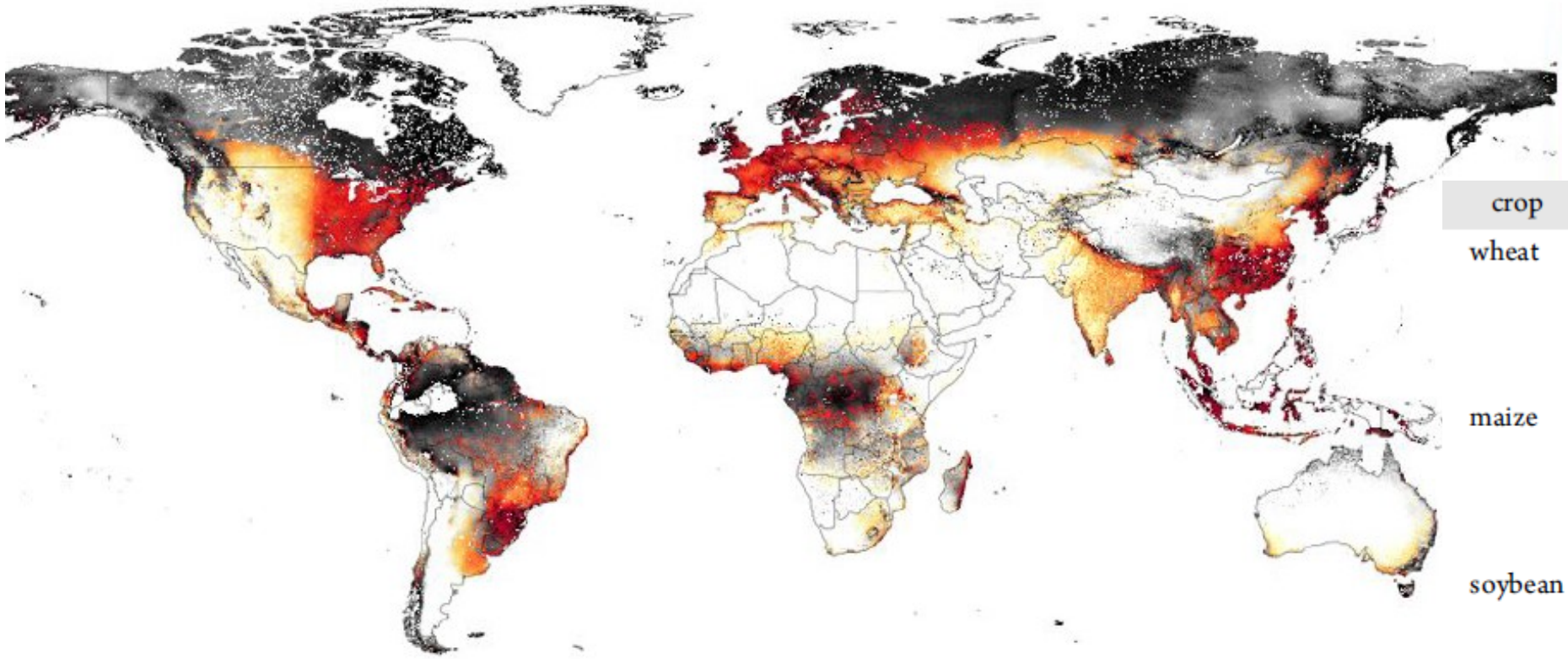
Keller *et al*. (2019)
Soil & Tillage Research 194

Historisk utveckling av veteskördar, FAO statistik för Nordeuropa



Skördeförluster på grund av markpackning

Sonderegger *et al*. (2020) *Environ. Sci. Technol.* 54.



Ju rödare/mörkare desto större förluster…

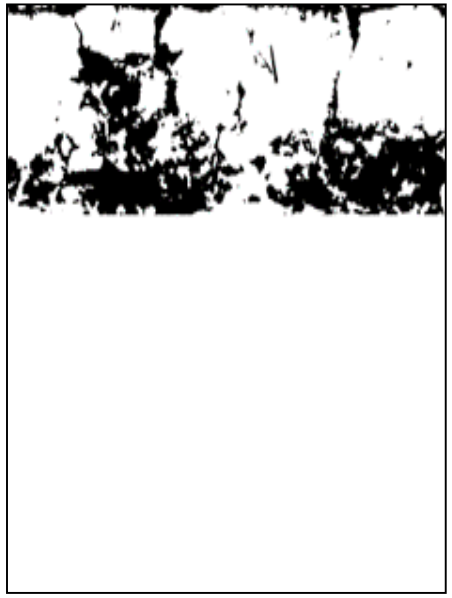
Skördeförlust i % pga. markpackning

crop	machinery size	tillage	comp.
wheat	S	C	5.5
	M	C	8.0
	L	C	9.3
maize	S	C	10.8
	M	C	17.2
	L	C	19.1
soybean	S	C	9.8
	M	C	15.7
	L	C	18.0
wheat	M	C	8.0
	M	RT	6.6
	M	NT	5.6

Markpackning reducerar framför allt markens stora porer, vilket minskar markens vattengenomsläpplighet

opackat

packat

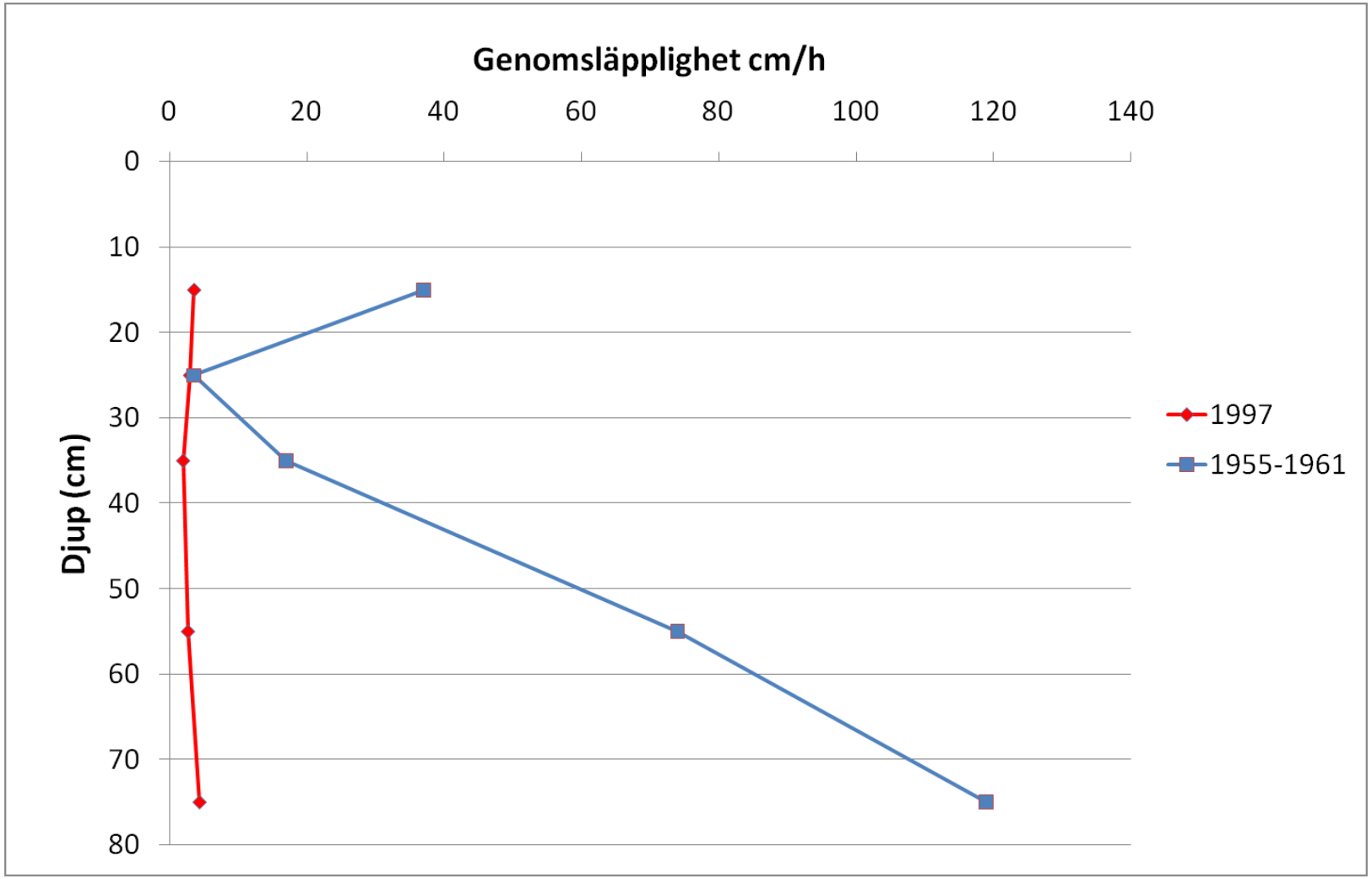


Vatten på ytan pga av reducerad genomsläpplighet i alven

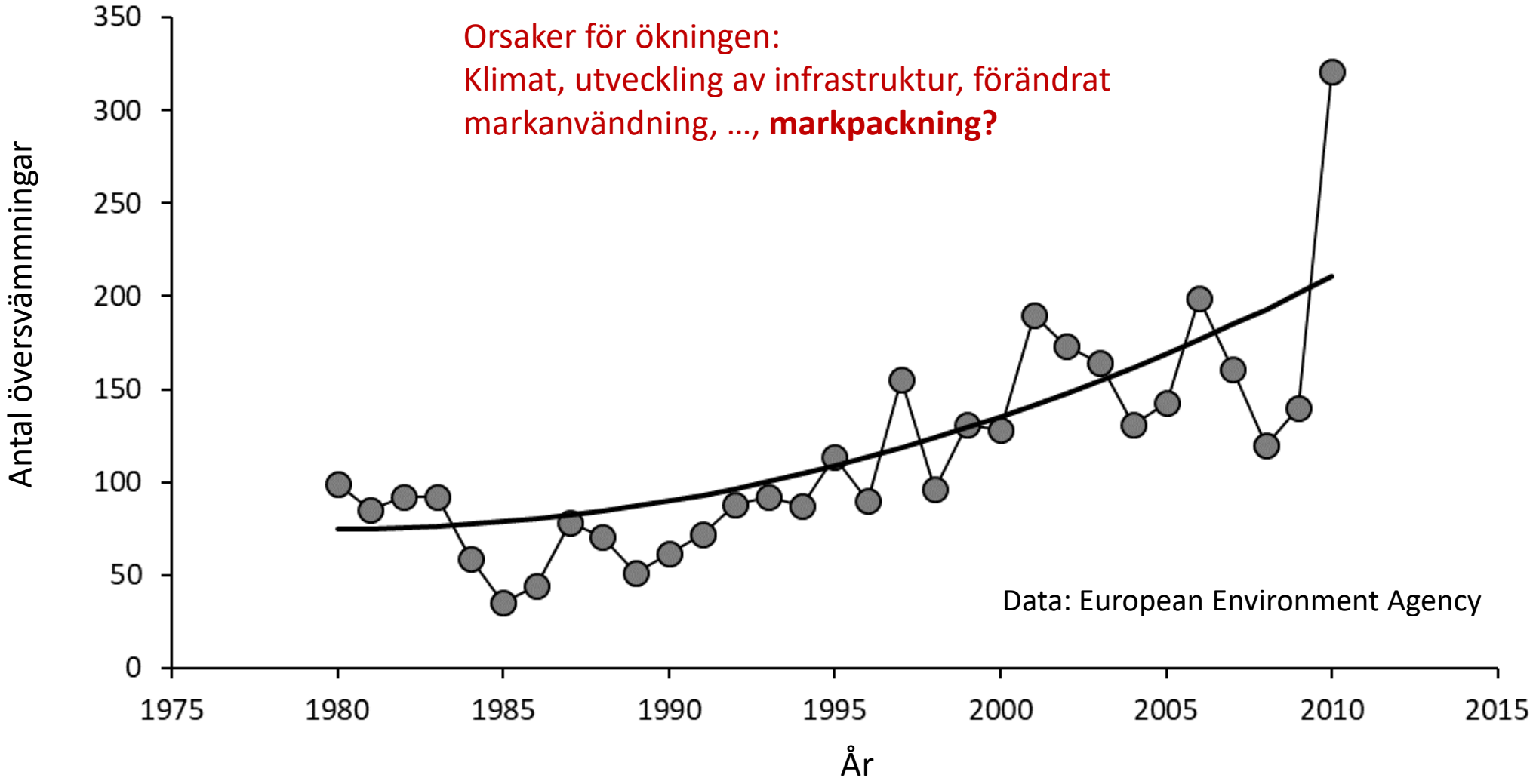
Mossadeghi-Björklund *et al*. 2019, *Soil Use Manage*.

Markens genomsläpplighet, 10 platser i Skåne och Uppland. Mätningar gjorda 1955-1961 respektive 1997

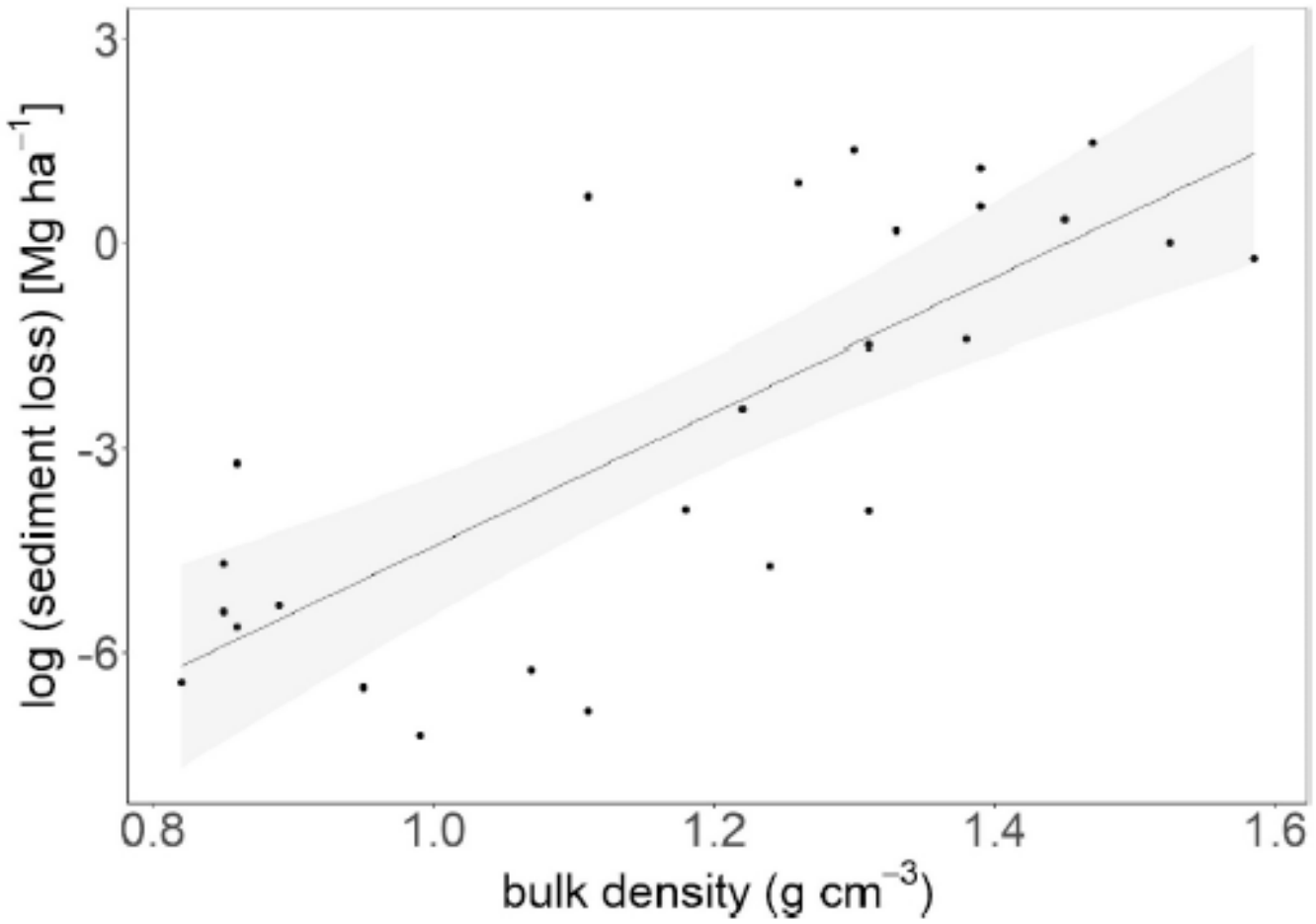
(Moberg, 2001, SLU Meddelanden från jordbearbetningsavdelningen, Nr 37.)



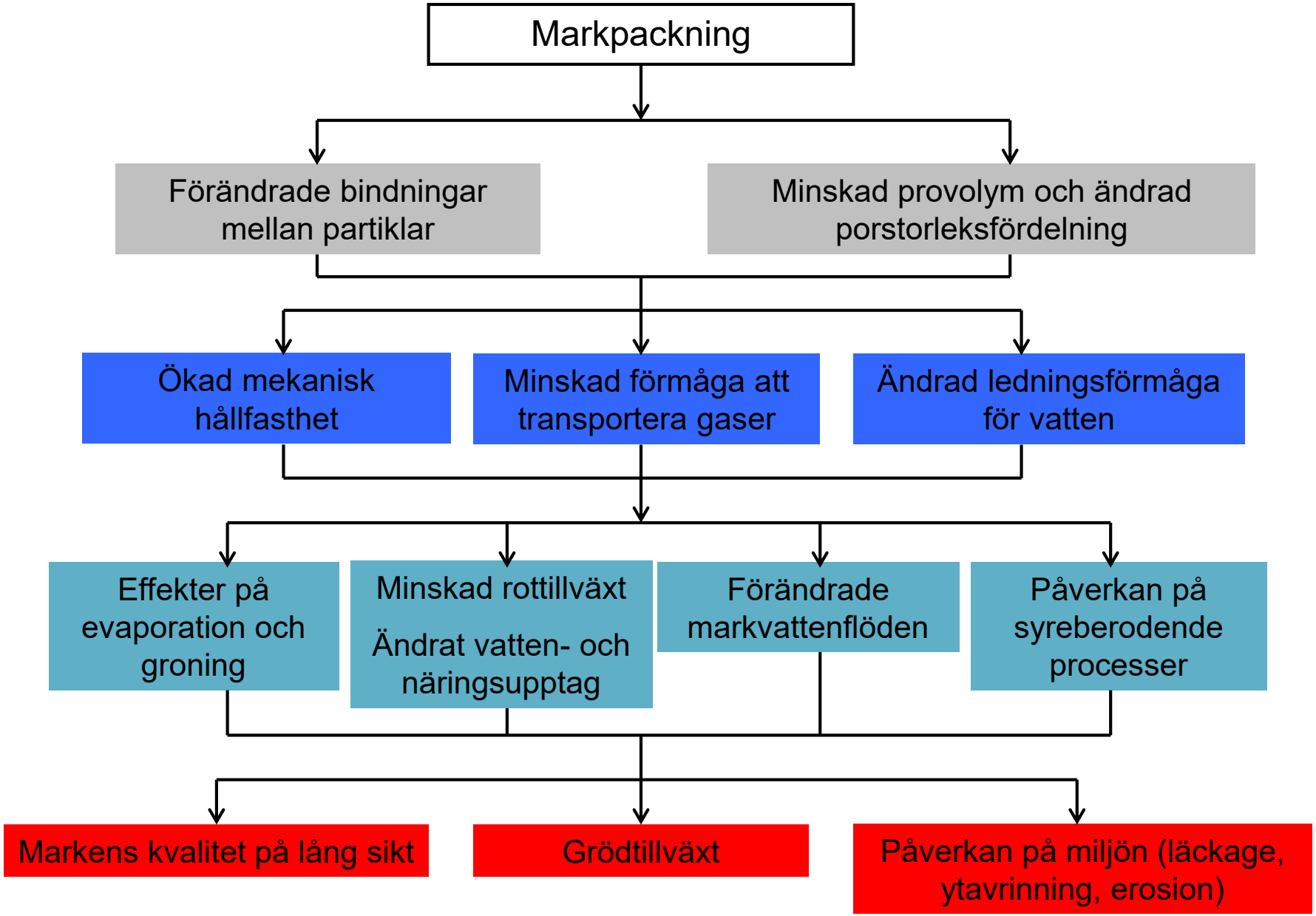
Ökning av översvämmningar sedan 1990



Markpackning och erosion



Hu *et al*., 2021. Compaction induced soil structural degradation affects productivity and environmental outcomes: A review and New Zealand case study. *Geoderma*, 395, 115035.



Arvidsson, J., 1997. Soil compaction in agriculture: from soil stress to plant stress. *SLU PhD thesis*.

Vad kostar markpackning? Uppskattningar för England & Wales

Graves *et al*. (2015) *Ecol. Econ*. 119

Totala årliga kostnader av markpackning:

- Per hektar: 137 € år^{-1} (59 € år^{-1} on-site kostnader = direkta kostnader för en lantbrukare)
- För en 20 ha gård: 2’740 € år^{-1} (1’180 € år^{-1} on-site kostnader), och för en 100 ha gård: 13’700 € år^{-1} (5’900 € år^{-1} on-site kostnader)
- För ett land/region… t.ex. i England och Wales (Graves *et al*., 2015): 530 × 10^{6} € år^{-1}

…det är kanske inte stora kostnader för ett litet fält, men stora kostnader om vi skalar upp!

Total costs of soil compaction

Några uppskattningar för Sverige, kostnader för minskat skörd

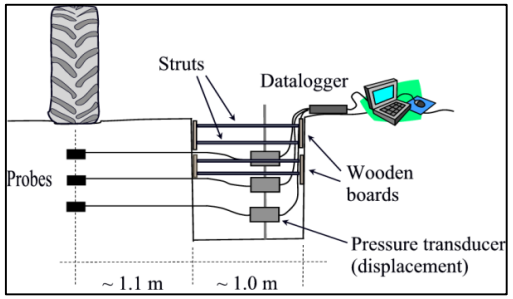
Assumptions		Fraction of total agricultural income **) (%)
Hectare costs of 19.4 € per ha agricultural land and year (Graves et al., 2015)	59	7.4
Average yield loss of 4.5% (Graves et al., 2015) and 35% compaction-affected area (Oldeman et al., 1991; Graves et al., 2015; Schjønning et al., 2015; Brus and van den Akker, 2018)	33	4.1
Yield loss 4-8% depending on soil texture (Eriksson et al., 1974) and distribution of textural classes for arable land in Sweden (Djodjic, 2015)	68	8.5
Yield data from experiments with gantry and cable-drawn implements showing 20% yield penalty of wheeled soil (Håkansson et al., 1985; Chamen, 2011; Chamen et al., 2015) and 35% compaction-affected area (Oldeman et al., 1991; Graves et al., 2015; Schjønning et al., 2015; Brus and van den Akker, 2018)	145	18.1
		9.5
		7.9

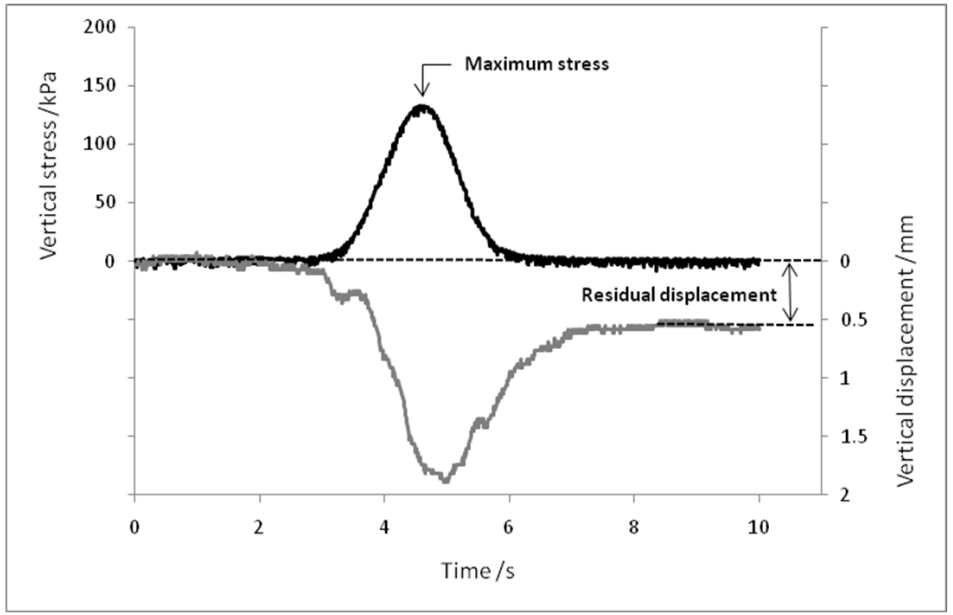
Storleksordning: 50-100’000’000 € per år
det är såklart osäkra uppskattningar

Keller *et al*. (2019) *Soil & Tillage Research* 194

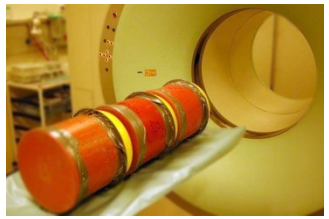
Tidskalor för packning och återhämtning är helt olika

Markpackning: sekunder (10^0 s)

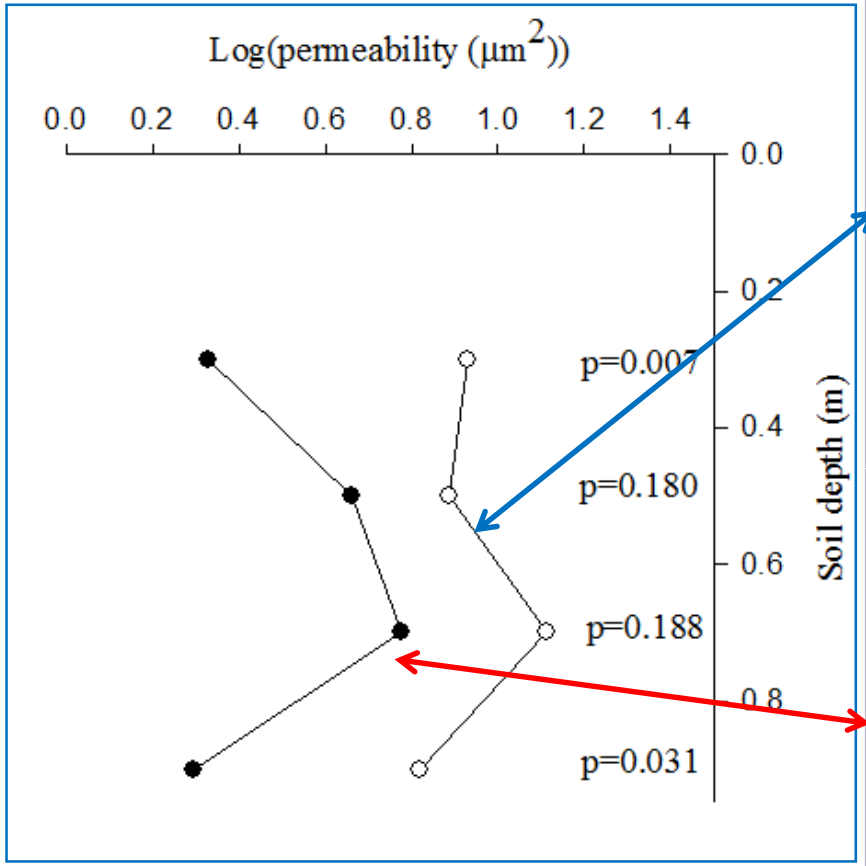


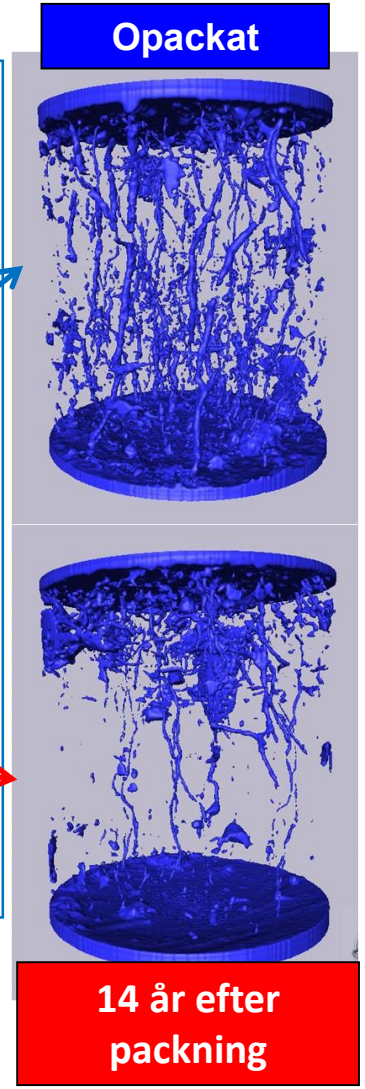


Keller *et al*. 2012. *Soil Sci*. 177.



Återhämtning: decennier (10^9 s) (?)



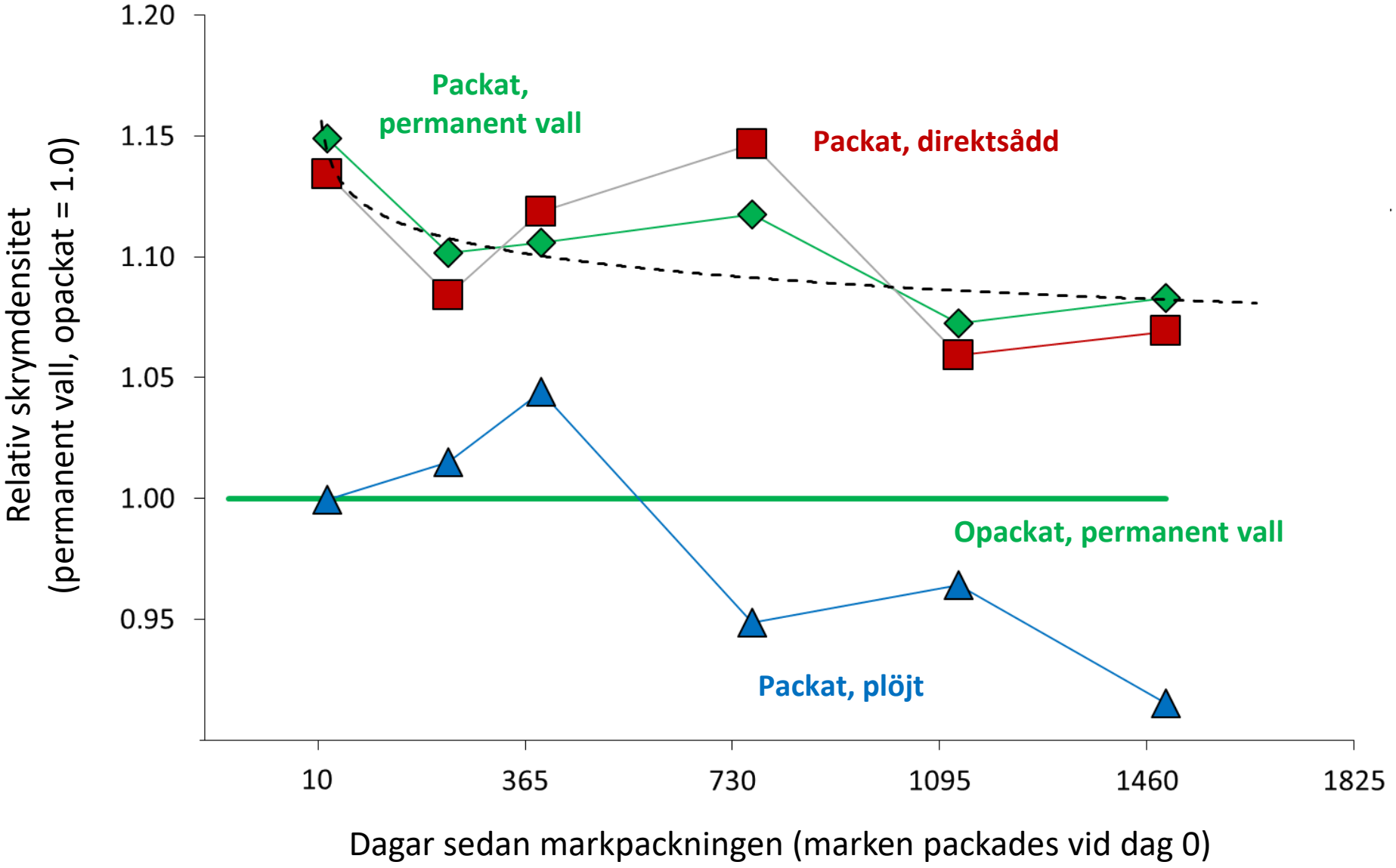


Berisso *et al*. 2012. *Soil Tillage Res.* 122
Lamandé *et al*., 2013. *Soil Sci*., 178, 359-368.

Återhämtning efter markpackning - bilder från ett försök i Zürich

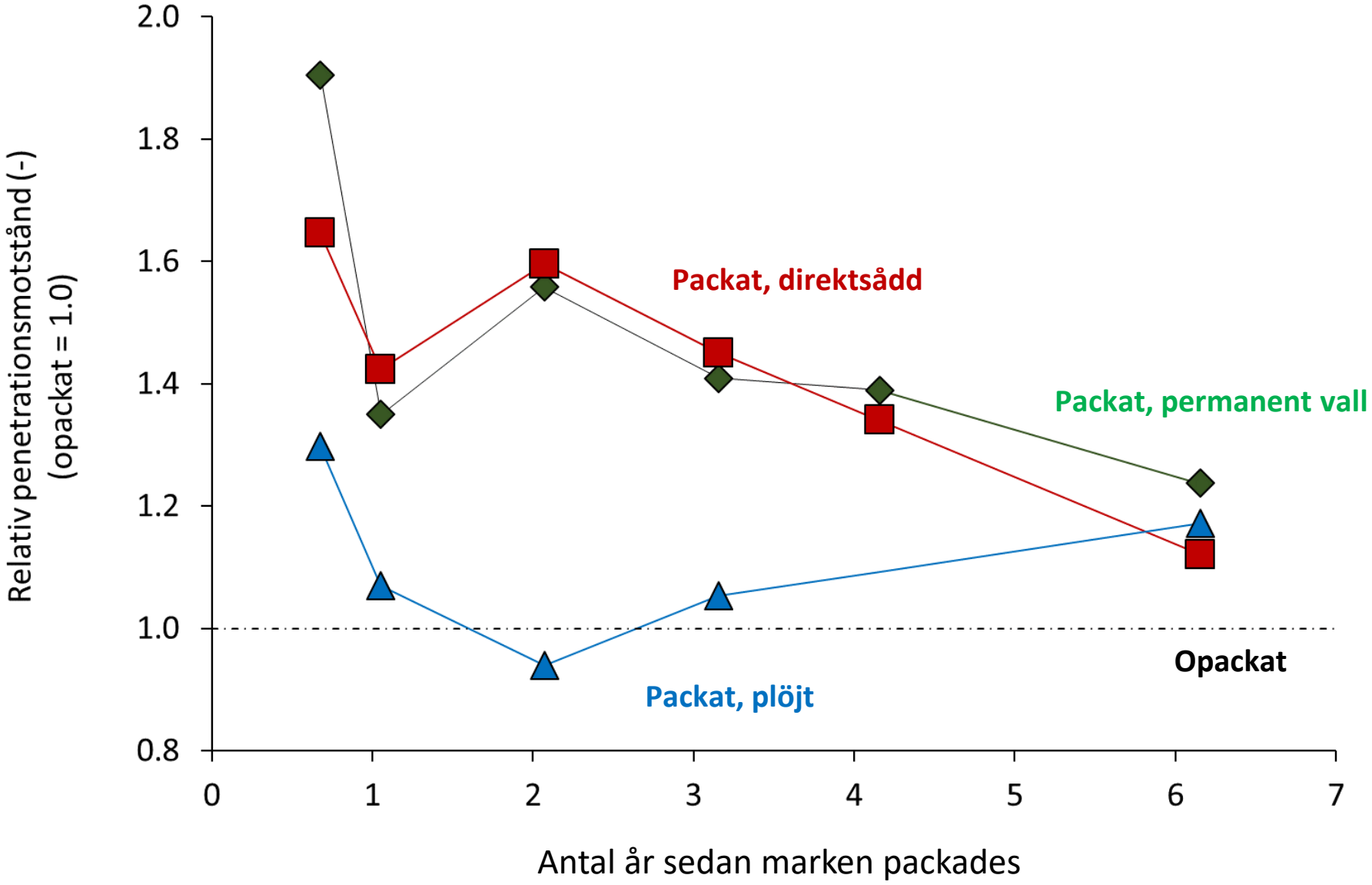
Markpackning är långvarig: skrymdensitet på 10 cm djup efter en "kraftig" packning

Keller *et al.*, unpublished

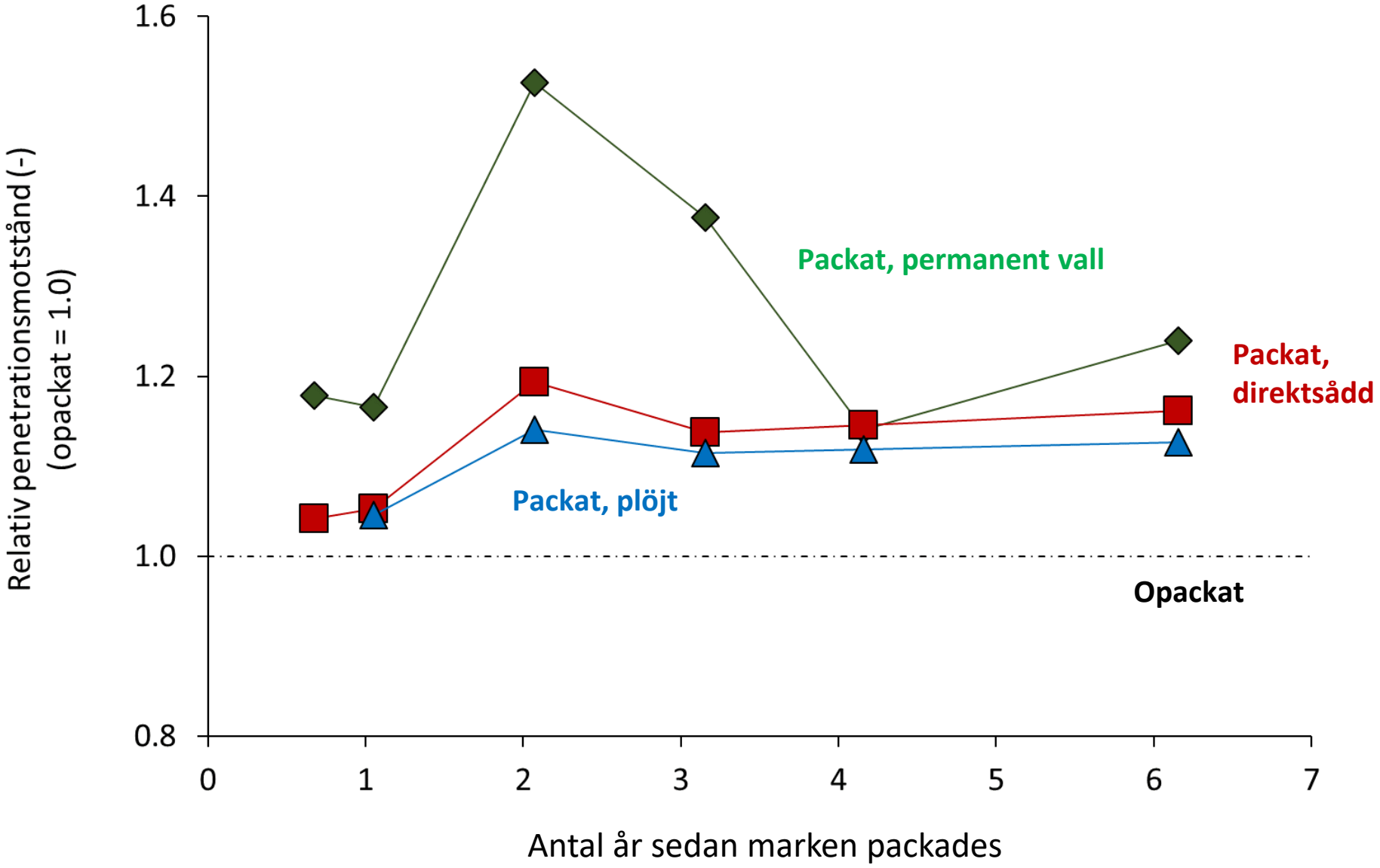


Markpackning är långvarig: markens mekaniska motstånd på 10 cm djup efter en “kraftig” packning

Keller *et al*., unpublished

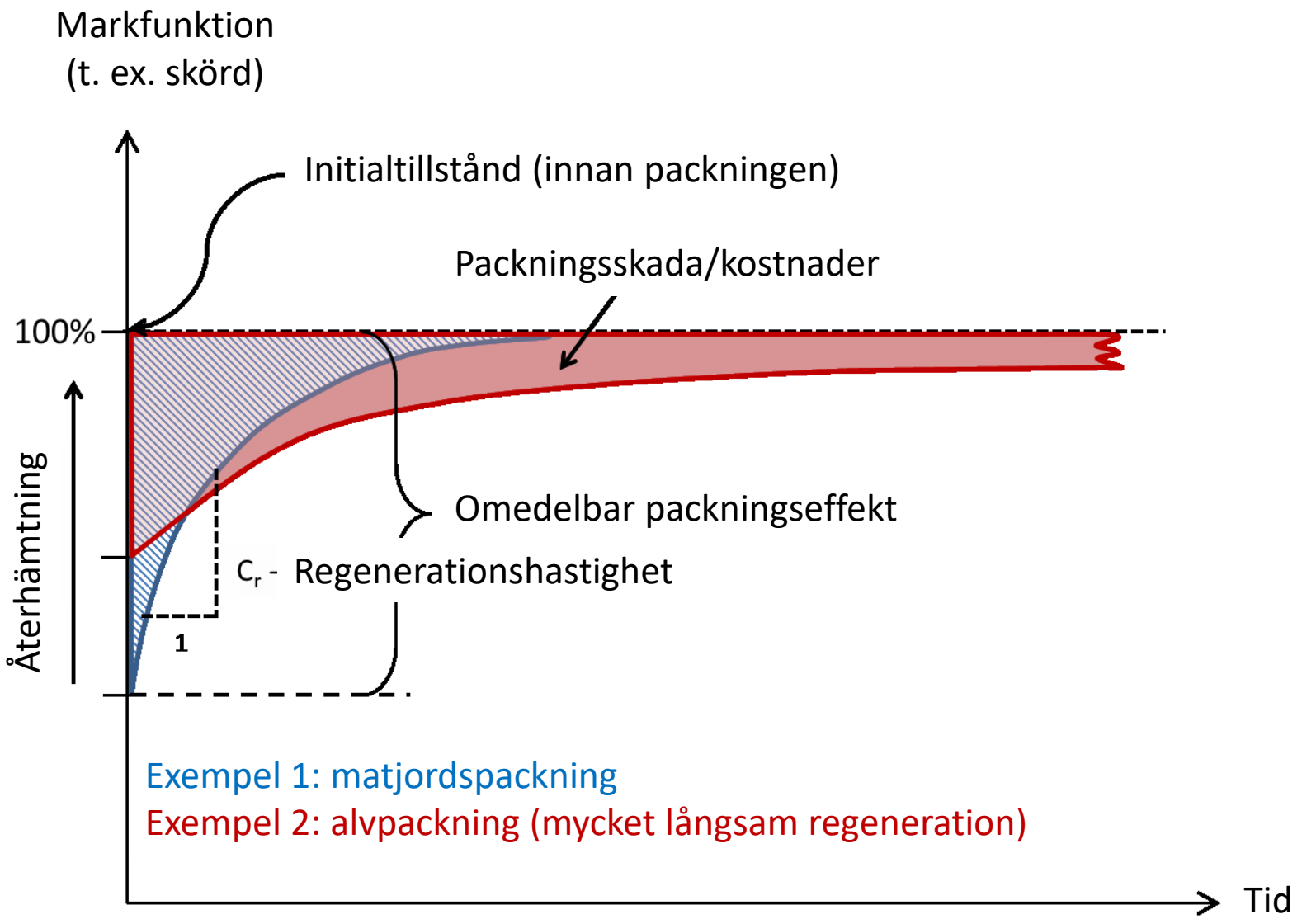


Alvpackning är långvarig: markens mekaniska motstånd på 40 cm djup efter en “kraftig” packning Keller *et al.*, unpublished

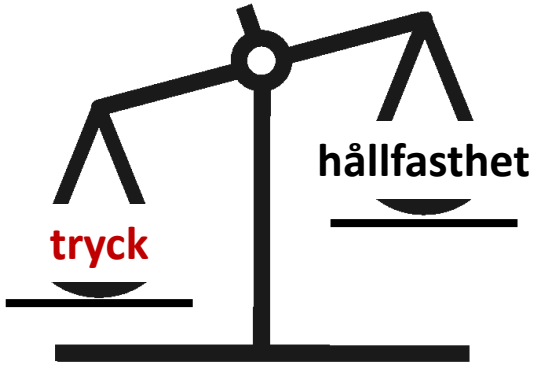


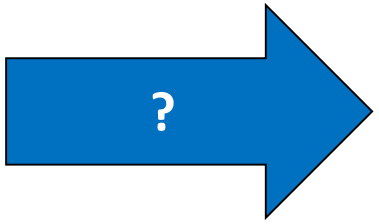
Kostnader av markpackning: omedelbar packningseffekt och regenerationstid är avgörande

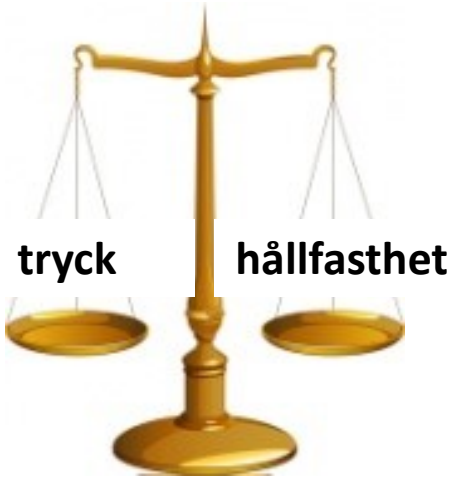
Keller *et al*. (2017) *Vadose Zone J*. 16.



Återhämtning är långsam -> bättre att undvika markpackning







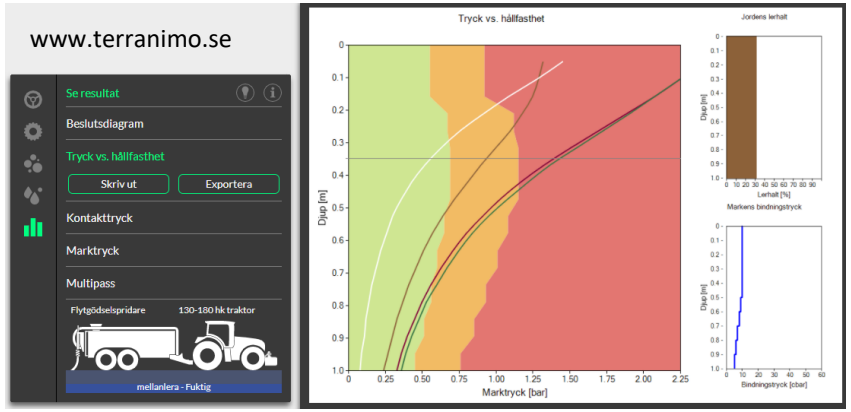
Option 1: reducera tryck i marken

Option 2: öka markens hållfasthet

Mera generellt: se till att tryck ≤ hållfasthet

Att hantera markpackning

- Minimera risken för markpackning genom att säkerställa att belastningen inte överskrider markens hållfasthet --> Loraine berätter mer om detta



- Reparera packningsskador, genom t.ex. alvluckring, «biologisk alvluckring» med hjälp av växter med djupa rötter --> Rekommenderas ej (alltid bättre att förebygga), eller bara om man verkligen måste

www.topcropmanager.com

Foto: Ray Weil, www.notillveggies.org

- Begränsa all körning till en liten yta och låta resten av fältet «orörd» – «fasta körspår» (controlled traffic farming, CTF)

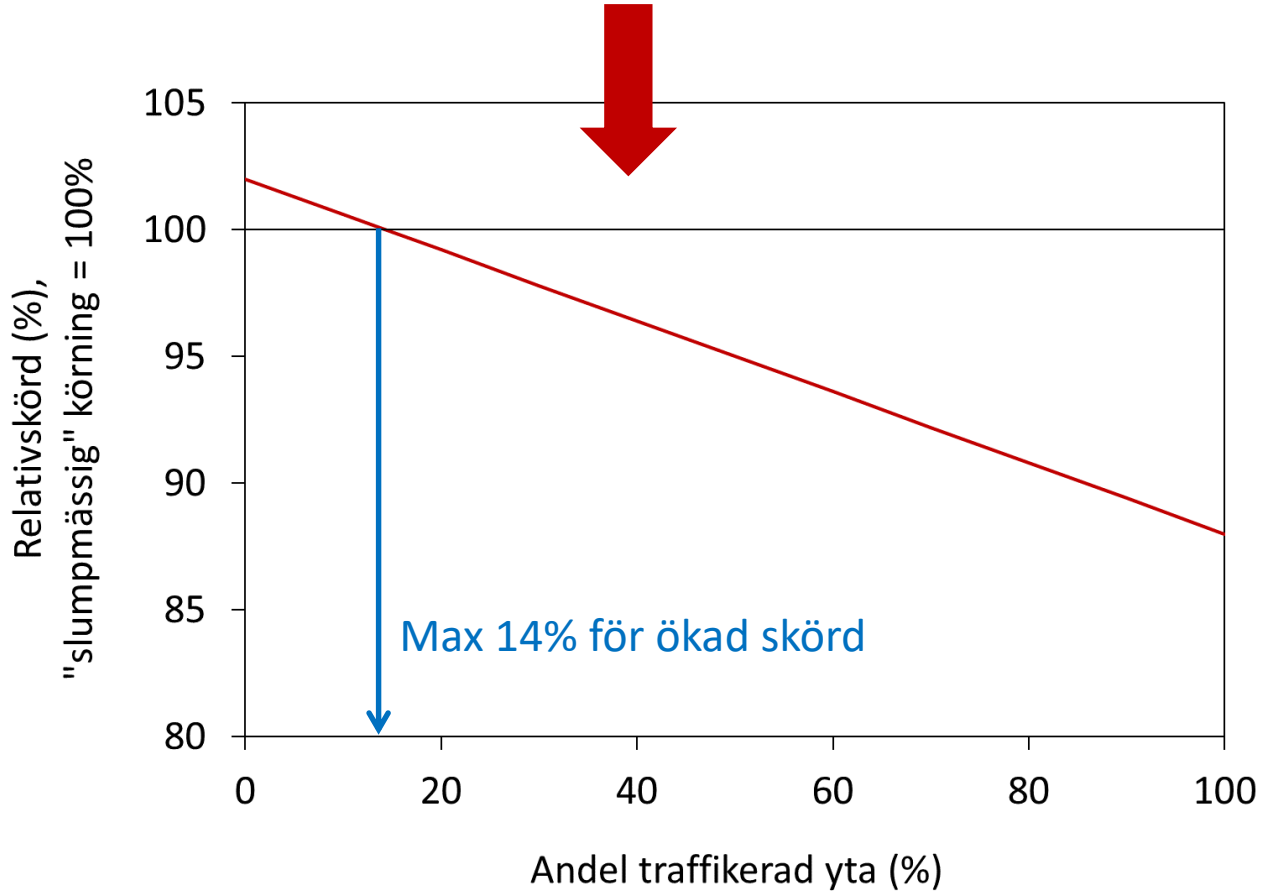
© www.blunk-gmbh.de

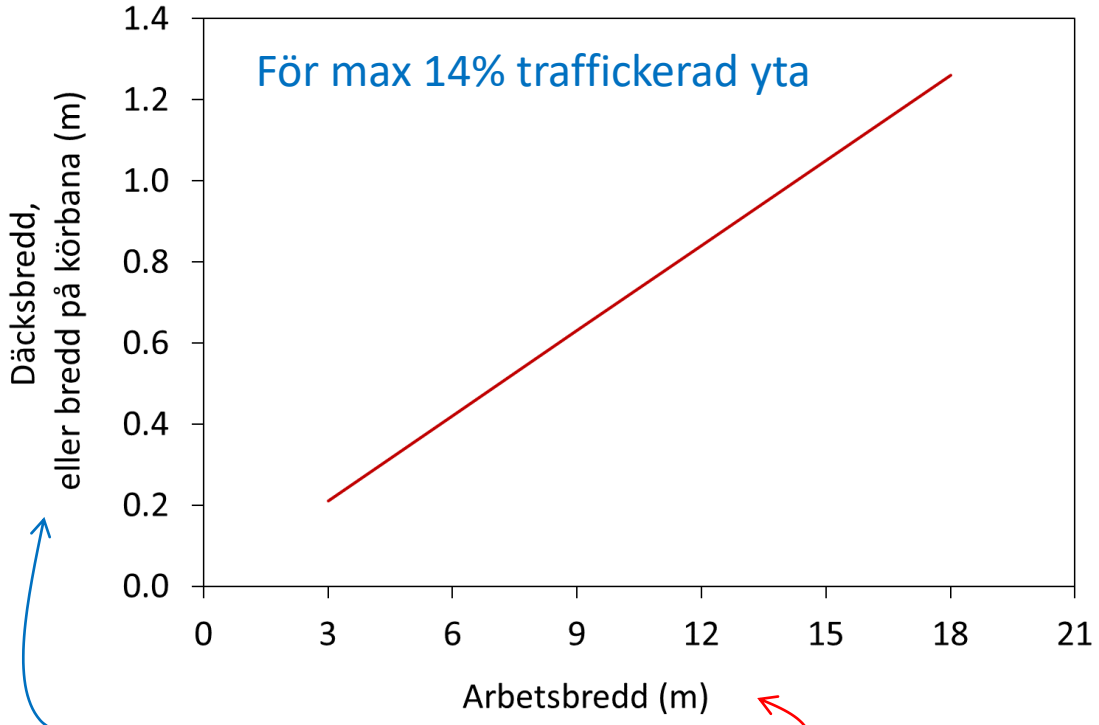
© Grains Research and Development Corporation

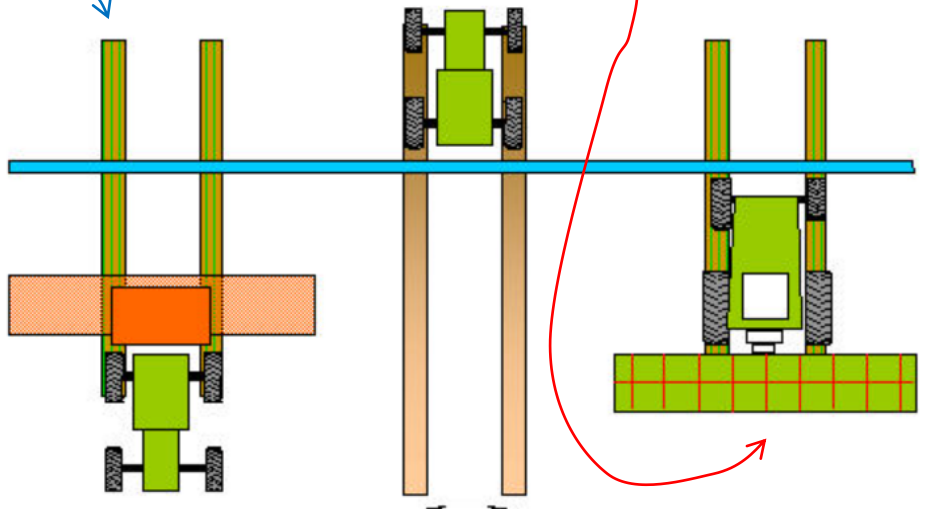
Fasta körspår – studier i Sverige av Etana *et al*. (2020)

Table 10. Relative yield in crop zone and traffic zone of CTF in Lydinge. Relative yield in RTF is expressed as 100.

Zone	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Mean
Crop zone	105a	112a	96a	110a	93a	92a	102a
Traffic zone	82b	96a	85a	101a	80a	80b	88b







http://www.controlledtrafficfarming.com/

Fasta körspår – review-artiklar: 10-20% skördeökning i «okörd» mark

Table 1. Yield of common crops achieved in the absence of field traffic relative to yield obtained when the crop was grown under traffic intensities that are typical of the cropping system (100% means no difference). Winter cereals: wheat, barley. Summer cereals: grain sorghum, maize. Grain legumes: soybeans. Oilseeds: oilseed rape, sunflower. Cotton: includes lint or lint + seed

Crop type	Relative yield (or range)	Soil type	Reference
Winter cereals	112%	Red Ferrosol	Hussein et al. (2017)
Winter cereals	104–135%	Loam, Sandy loam	Hamilton et al. (2003); Galambošová et al. (2017); Godwin et al. (2017)
Winter cereals	114–127%	Heavy clay	Radford et al. (2001); Tullberg et al. (2001)
Grain legumes	110–143%	Clay, clay loam, sandy loam	Khalilian et al. (1991); Botta et al. (2007); Kaczorowska-Dolowy et al. (2019)
Summer cereals	100–175%	Loam, Clay	Ngunjiri & Siemens (1995); Radford et al. (2001); Hussein et al. (2018)
Cotton	106–128%	Silt loam, Sandy clay loam, Clay	Hadas et al. (1985); Akinci et al. (2004); Kulkarni et al. (2010); Hulugalle et al. (2017)
Oilseeds	128–195%	Clay loam, Clay	Bayhan et al. (2002); Chan et al. (2006)
Grass (silage)	105–174%	Clay loam, Sandy clay loam, Sandy loam	Peets et al. (2017); Hargreaves et al. (2019)

Antille *et al.*, 2019, *Agronomy Research*, 17, 653-682.

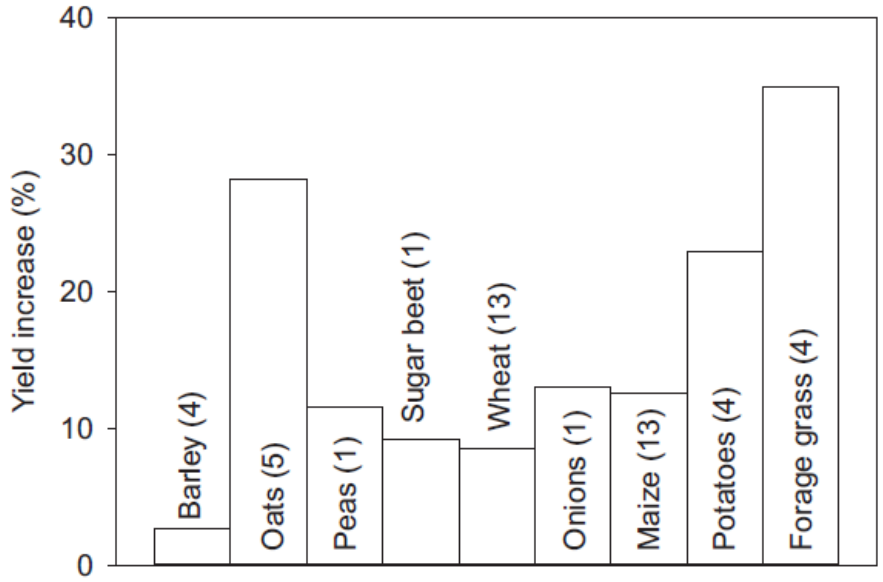


Fig. 6. Yield increase attributed to non-trafficked compared with conventionally trafficked soils (number of research reports from which data derived) (from Chamen, 2011).

Chamen *et al.*, 2015, *Soil & Tillage Research*,. 146, 10-25.

Finns en sida om svensk forskning och erfarneheter på ctfeurope.dk:
http://ctfeurope.dk/category/landbrug/sverige/