MARKSTENSBELÄGGNINGAR FÖR INDUSTRIYTOR

Markstensbeläggningar för industriytor är tryckt och utgiven 2006.
Produktion: berge.se
Grafisk form: Lönegård & Co.
Tryck och repro: Wallin & Dalholm Boktryckeri AB, Lund.
Omslagsfoto: Nils Ingvarsson (Bildgården), Svetruck, Fredrick Lekarp.
© Svensk Markbetong.
ISBN 91-97 60 41-0-0

Förord

Denna handbok om dimensionering av markstensöverbyggnader för tungt belastade ytor riktar sig i första hand till projektörer inom konsult- och entreprenörbranschen. Delar torde även vara användbara inom kommunal verksamhet. Produktion samt drift och underhåll behandlas endast i begränsad omfattning. För ytterligare information om dessa områden hänvisas till andra handböcker i Svensk Markbetongs och Svenska Kommunförbundets serie om markstensbeläggningar.

Handboken innehåller de första anvisningarna och rekommendationerna för markstensytor med belastningar överstigande 10 tons axellast. Skriften är ingen lathund, utan tänkt att fungera som ett stöd i den egna dimensioneringen. Teoretisk dimensionering handlar i första hand om att konstruera överbyggnader med olika material och lagerföljder som kan bära erforderliga laster. Ofta används teoretiska förutsättningar såsom homogena material och statiska vertikala laster. Det finns idag ingen teoretisk dimensioneringsmetod som kan beakta samtliga typer av belastningsfall eller material. De olika påfrestningar som uppstår vid extremt tung belastning är inte heller helt klarlagda och de kriterier som används vid dimensioneringen är vanligen framtagna för betydligt lägre laster. Varje specifikt objekt har sina speciella förutsättningar och sifferuppgifter. Dimensioner och annan information får därför inte överföras till faktiska objekt utan vidare studier och egna beräkningar. Egen dimensionering ger också större möjlighet till optimering av ekonomi, överbyggnadstyp och materialval.

Vi har i denna handbok så långt som möjligt tagit hänsyn till de omständigheter som inte kan beräknas teoretiskt och extra säkerhet har lagts in i dimensioneringstabellerna. Ett lyckat resultat förutsätter dock att projektering och utförande görs korrekt.

Svensk Markbetong eller CBI kan inte hållas ansvarig för uppgifter som hämtats ur handboken för vidare applicering och användning i objekt eller projekteringar, eller för annan användning.

Denna skrift är framtagen med underlag från CBI (Silfwerbrand 2005), VTI, Cementa, Skanska Prefab Mark, S:t Eriks och Starka Betongindustrier.

Erik Simonsen, Cementa AB Johan Silfwerbrand, CBI

Innehållsförteckning

1 Markstensbeläggningar för industriytor 5
- 1.1 Användning av markstensbeläggning 5
- 1.2 Höga axellaster 6
- 1.3 Staplade containrar 7
- 1.4 Svängande truckar 8
- 1.5 Mekaniskt slitage 8
- 1.6 Oberoende av temperatur 9
- 1.7 Oljespill, bränslen och avisningsmedel 9
- 1.8 Hög ljushetsgrad 10
- 1.9 Informativ beläggning 10
- 1.10 Lågt underhållsbehov 10
- 1.11 Lång teknisk livslängd 10
- 1.12 Svenska industriytor 11
- 1.13 Sammanfattning 12

2 Markstensbeläggningars egenskaper 13
- 2.1 Vertikal låsning 13
- 2.2 Horisontell låsning 13
- 2.3 Stabila kantstöd – inspänning 14
- 2.4 Låsstenar 14
- 2.5 Välfyllda fogar 14
- 2.6 Optimal körriktning 15

3 Överbyggnad 16
- 3.1 Terrass 16
- 3.2 Förstärkningslager 16
- 3.3 Obundet bärlager 17
- 3.4 Bärlager av cementbundet grus (CG) 17
- 3.5 Bärlager av asfaltgrus (AG) 17
- 3.6 Terrasstabilisering 18
- 3.7 Sättsand 18
- 3.8 Fogsand 19
- 3.9 Krav på överbyggnaden 19

4 Beräkningsförutsättningar 20
- 4.1 Typfall 20
- 4.2 Trafikbelastning 21
- 4.3 Containeruppställning 22
- 4.4 Klimatzon 23
- 4.5 Tjäle 23
- 4.6 Trafikbelastning 24
- 4.7 Andel fordon med full last (A) 24
- 4.8 Antal standardaxlar per tungt fordon (B) 24
- 4.9 Avvikelser från fullständig spårbundenhet (C) 25
- 4.10 Karakterisering av ytan (D) 25
- 4.11 Beräkningsgång 25

5 Appendix: 28
- A. Obunden överbyggnad 28
- B. Överbyggnad med bundet bärlager (AG) 32
- C. Överbyggnad med krossad betong 36
- D. Ekvivalent skadefaktor 40
- E. Containerlaster 41
- F. Tjällyftning 43
- G. Justering av överbyggnad 44
- H. Indelning av berg och jordmaterial 44
- I. Antal standardaxlar per tungt fordon 45
- J. Exempel: 46
  - 1. Tillfartsväg färjeterminal, Skåne 46
  - 2. Containerterminal i Skåne 48
  - 3. Centrallager möbelindustri, Småland 50
  - 4. Skogsindustriyta i södra Norrland 52

Referenser 55

1 Markstensbeläggningar för industriytor

1.1 Användning av markstensbeläggning

Markstensbeläggningar används i allt större utsträckning för kommunala och industriella ändamål. Under de senaste 10 åren har användningen av marksten och plattor av betong ökat med mer än 85 % i Sverige. En anledning är att vackra och funktionsenliga torg, tillgänglig innerstadsmiljö och miljövänliga och underhållsfria ytor är högt prioriterade av Sveriges kommuner. Det har gjort prefabricerad markbeläggning av betong till ett allt mer attraktivt beläggningsalternativ. En annan anledning är den ökade satsningen på säkrare trafikmiljö. Beläggningar av marksten kan användas systematiskt för att skapa konsekventa och tydliga trafikmiljöer som styr trafikanterna till lämpligt beteende, t.ex. sänkt hastighet.

Markstensbeläggningar i betong är ett naturligt val för alla typer av industriytor.
Fotot visar beläggningsarbete i Helsingborgs hamn (foto: Ann-Catrin Elland).

Den ökande användningen av markstensbeläggningar på industriytor beror dock i första hand på rent tekniska fördelar, som exempelvis att de

- tål höga fordons- och axellaster
- tål höga statiska laster såsom staplade containrar utan risk för genomstansning
- tål höga horisontella påkänningar från svängande truckar och lastbilar
- är mycket lämpliga på ytor med högt mekanisk slitage
- har oförändrad bärförmåga vid höga temperaturer
- har god beständighet mot oljespill, bränslen och avisningsmedel
- har lågt underhållsbehov
- har lång teknisk livslängd

1.2 Höga axellaster

Kommunala ytor trafikeras sällan av fordon med högre axellaster än 10 ton. På industriytor är det dock vanligt med arbetsfordon med avsevärt högre axellaster. Axellaster på uppemot 100 ton är inte ovanliga. Betongens styvhet, i kombination med en rätt utförd överbyggnad, ger goda förutsättningar för lång livslängd trots hög belastning.

Markstensbeläggningar har mycket god förmåga att uppta höga hjullaster (bilden t.h. foto: Svetruck).

1.3 Staplade containrar

På ytor som används för mellanlagring av containrar är det särskilt fördelaktigt att använda markstensbeläggningar. Staplade containrar ger upphov till mycket höga koncentrerade statiska belastningar. Eftersom betong inte är ett visköst material (på samma sätt som t.ex. asfalt) leder inte den statiska belastningen till några negativa långtidseffekter. Markstensbeläggningar klarar att bära belastningen från mycket höga containerstaplar utan att deformeras eller på annat sätt skadas. Eftersom obundna eller asfaltbundna bär- och förstärkningslager påverkas av statiska laster måste dock särskild dimensionering göras för ytor som ska användas för stapling av containrar.

På uppställningsytor utnyttjas markstensbeläggningens goda tekniska egenskaper. Ålesund Havn, 17 000 m² (foto: Durapave

Nor-Cargo, Ålesund, 5 000 m² (foto: Durapave AS).

1.4 Svängande truckar

Tunga lastbilar och arbetsfordon orsakar mycket stora horisontella krafter när de bromsar, accelererar och svänger. Markstensbeläggningar har utmärkta egenskaper för att klara dessa påfrestningar. Med väl fyllda fogar och korrekt utförd inspänning tål beläggningarna de belastningar som uppstår.

Stora horisontella krafter uppstår när fordon svänger, bromsar eller accelererar (foto: Nils Ingvarsson).

1.5 Mekaniskt slitage

Industriytor utsätts normalt för mycket stort mekaniskt slitage. Det kan t.ex. orsakas av tunga, fordonsburna arbetsredskap som tappas eller släpas över ytan, containrar som knuffas eller tungt belastade stödben med liten anläggningsyta. Betongens hårda yta och höga styvhet gör den mycket motståndskraftig mot mekaniskt slitage.

Marksten är mycket lämplig på ytor med stort mekaniskt slitage (foto: Fredrick Lekarp).

Fordonsvikter på 400 ton och mycket stort mekaniskt slitage på Ulstein Verft, Ulstenvik, Norge (foto Durapave AS).

1.6 Oberoende av temperatur

I asfaltbeläggningar kan plastiska deformationer uppstå. Dessa orsakas av omlagringar i asfaltlagret och uppstår i första hand under sommaren då beläggningens temperatur är hög. Störst skada uppstår i allmänhet på ytor med hög statisk belastning eller långsamtgående tung trafik. Låg hastighet i kombination med att asfalten mjuknar vid hög temperatur ökar risken för skador. En markstensbeläggning av betong har däremot samma styvhet oberoende av temperatur, vilket innebär att denna typ av skador inte uppkommer.

1.7 Oljespill, bränslen och avisningsmedel

Industriytor är ofta utsatta för kemikaliespill av exempelvis oljor, bränslen och avisningsmedel. Sådana produkter är normalt inte skadliga för markstensbeläggningar, men bör naturligtvis tas omhand så snart som möjligt för att undvika negativ miljöpåverkan.

35 000 m² markstensbeläggning under utläggning på Torp flygplats i Norge 2002/2003 (foto: Durapave AS).

1.8 Hög ljushetsgrad

Belysningen är viktig vid utformning av industriytor och kan stå för en stor del av driftkostnaderna. Markbetongprodukter har en betydligt högre ljushetsgrad (reflekterande förmåga) än t.ex. asfalt. Det betyder att en markstensbeläggning inte kräver samma höga belysningseffekt som en asfaltyta. Utländska mätningar (Shackel 1991) på markstensbeläggningar visar att ljusreflektionen normalt är 2 till 3 gånger större än för asfalt beroende på betongens färg. Även beräkningar från kommunala ytor i Sverige (Gata för människor 98) visar att vid val av markstensbeläggningar i stället för asfalt kan man med bibehållen trafiksäkerhet halvera driftskostnaderna för belysning.

1.9 Informativ beläggning

Den ökande användningen av markstensbeläggningar på industriytor beror främst på rent tekniska fördelar. Möjligheten att öka användbarheten i en komplex industrimiljö bör dock inte underskattas. Genom ett stort utbud av former, färger och mönster kan markstensbeläggningar av betong användas för att öka orienterbarheten och tydligheten i integrerade industrimiljöer, på samma sätt som blir allt vanligare i städernas trafikmiljöer.

1.10 Lågt underhållsbehov

Rätt utförda är markstensbeläggningar i stort sett underhållsfria. Mekaniskt slitage och väderpåverkan kan med tiden förändra beläggningens utseende, men påverkar normalt inte beläggningens funktionella egenskaper. Eventuella andra förändringar beror i första hand på om överbyggnad och beläggning är korrekt utförda. Om stenar behöver bytas ut kan detta enkelt utföras med specialverktyg. Vid åtgärder i överbyggnaden kan markstensbeläggningen i allmänhet återanvändas efter utförd reparation. För ytterligare information om drift- och underhåll av markstensbeläggningar hänvisas till handboken ”Marksten och plattor, del 3 drift och underhåll (2005)”.

1.11 Lång teknisk livslängd

Normalt skiljer man på markstenarnas och överbyggnadens livslängd. Överbyggnadens livslängd beror i första hand på dimensionering, utförande samt aktuell drift och underhåll. Prefabricerade markstenar av betong, producerade efter dagens krav, har mycket lång livslängd. I exempelvis Danmark finns många exempel på tungt belastade industriytor, som endast i mycket begränsad omfattning har påverkats av trafiken, trots att de varit i drift i mer än 40 år. Sammantaget beror den tekniska livslängden på korrekt

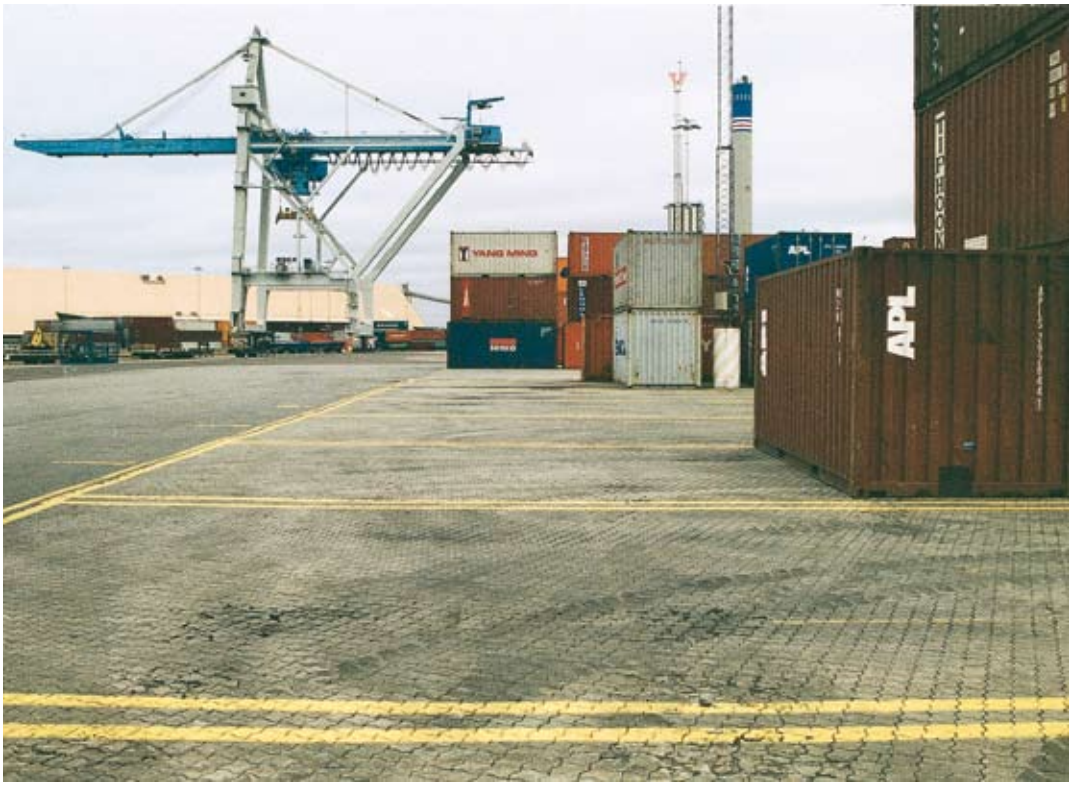
- projektering – bedömning av terrassmaterial, trafikbelastning, trafikmönster och spårbundenhet
- dimensionering – val av material, lagerföljder, och kantsäkring
- utförande – lagertjocklekar, packning och fogning
- drift och underhåll – eftersandning, reparationer i rätt tid

1.12 Svenska industriytor

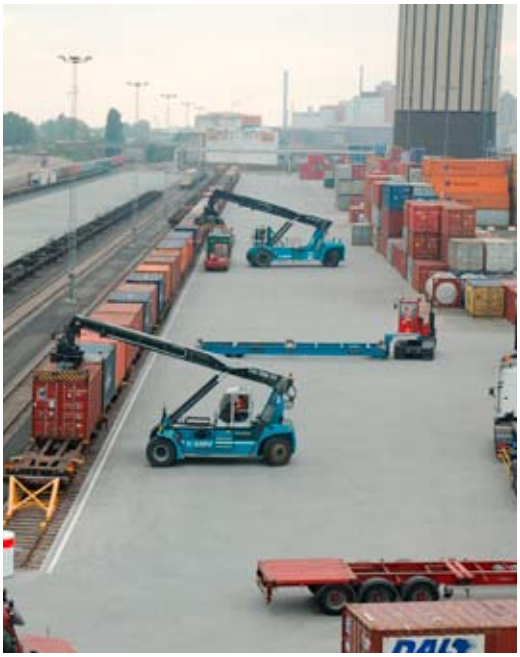
Internationellt har markstensbeläggningar använts på tungt belastade industriytor i många år. Även i Sverige har ett antal industriytor belagts med markstensbeläggning på senare år. Utförda inventeringar visar att ytorna har klarat sig mycket bra med bibehållen funktionalitet under årens lopp. Nedan visas några exempel på markstensbelagda industriytor som färdigställts under de senaste 20 åren.

Tabell 1. Urval av Svenska industriytor belagda med markstensbeläggning, färdigställda under de senaste 20 åren.

Referensyta	Plats	Industrityp	Area (m^2)	Byggår
Västhamnen	Helsingborg	Hamn- och terminalverksamhet	100 000	1984
Färjeläge	Malmö Hamn	Hamnverksamhet	50 000	1985
Söderhamnen	Helsingborg	Hamnverksamhet Färjeterminal	60 000	1990
Kombiterminal	Älmhult	Containerterminal	18 000	1992
Pripps depå	Arlöv	Lagerhantering	10 000	1993
Stena	Malmö	Återvinning	1 600	1997
Markarbeten 96	Trelleborgs Hamn	Hamnterminal	1 000	1997
Örtofta Sockerbruk	Örtofta	Beteshantering	8 000	1998
Jysk centrallager	Nässjö	Distributionscentral	10 000	1999
Kombiterminal	Trelleborgs Hamn	Hamnanläggning	30 000	2000
IKEA	Jönköping	Distributionscentral	10 000	2001
Jysk centrallager	Nässjö	Distributionscentral	6 100	2003
Terminal	Trelleborgs Hamn	Hamnanläggning	11 000	2004
Kombiterminal	Hallsberg	Kombiterminal	36 000	2004
Kombiterminal	Helsingborg	Containerterminal	28 000	2005



Västhamnen, Helsingborg (foto: Fredrick Lekarp).



Kombiterminal i Helsingborgs hamn (foto: Ann-Catrin Elland).

Örtofta sockerbruk (foto: Fredrick Lekarp).

Västhamnen Helsingborg (foto: Fredrick Lekarp).

IKEA, Jönköping (foto: Fredrick Lekarp).

1.13 Sammanfattning

Sammanfattningsvis gäller för markstensbeläggningar att de

- tål stora vertikala och horisontella fordonslaster
- tål mycket höga koncentrerade statiska laster, t.ex. staplade containrar
- har stor motståndskraft mot mekaniskt slitage
- tål sättningar och deformationer utan att stenarna skadas
- har oförändrad bärförmåga och styvhet vid höga temperaturer
- har god beständighet mot kemikalier som oljespill, bränslen och avisningsmedel
- kan återanvändas vid reparationer i överbyggnaden.
- har hög ljushetsgrad och reflekterande förmåga och därmed kräver mindre belysning än t.ex. asfaltytor
- kan varieras i form och färg samt ger möjlighet till en estetiskt tilltalande och informativ yta
- har mycket lågt underhållsbehov
- har lång teknisk livslängd

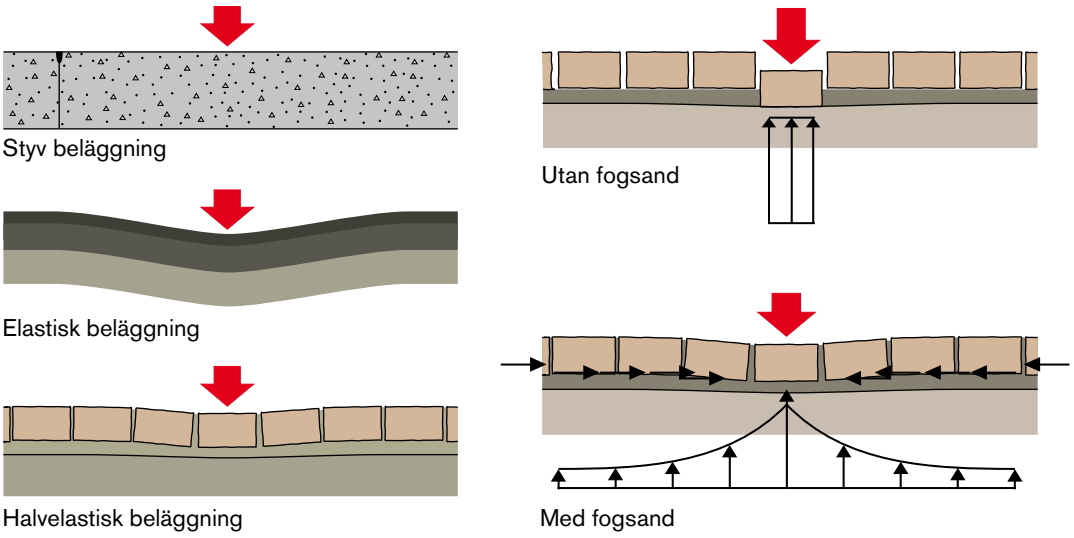
2 Markstensbeläggningars egenskaper

Markstensbeläggningar verkar genom låsning i vertikal- och horisontalled.

2.1 Vertikal låsning

I vertikalled kan en markstensbeläggning tekniskt beskrivas som en halvelastisk beläggning, eftersom den är både styv och elastisk. Till skillnad från asfalt består markstensbeläggningen av styva enheter som är förbundna med varandra av elastiska fogar av sand. En halvelastisk beläggning kombinerar den styva beläggningens förmåga till lastspridning med den elastiska beläggningens flexibilitet. För att uppnå en god lastspridning är det avgörande att fogarna är väl fyllda med fogsand. Det möjliggör samverkan mellan stenarna och lasten fördelas över en större yta.

Figur 1. Markstensbeläggningens egenskaper. Välfyllda fogar är avgörande för beläggningens funktion.



2.2 Horisontell låsning

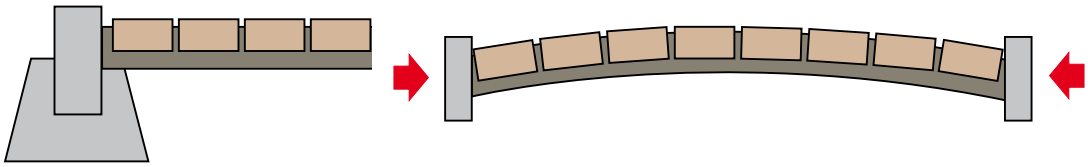
I horisontalled låses markstensbeläggningen bl.a. genom

- stabila kantstöd – inspänning
- låsstenar
- läggningsmönster
- välfyllda fogar

2.3 Stabila kantstöd – inspänning

Lastspridning mellan skarvarna sker genom överföring av skjuvkrafter i fogen. Skjuvningen möjliggörs av normalkrafter över fogen. Normalkrafterna har i sin tur sitt upphov i inspänningen eller i friktionen mellan stenar och sättsand. Valvverkan förstärker ytterligare möjligheten till skjuvkraftsöverföring i fogen. På särskilt belastade ytor eller känsliga områden, t.ex. nära beläggningskanten (2–3 m), bör kantstöd användas. För maximal kraftöverföring i fogen är det lämpligt att använda en valvkonstruktion. Det kan t.ex. gälla transportvägar med hög spårbundenhet. Bäst förankring uppnås när kantstödet sätts i betong.

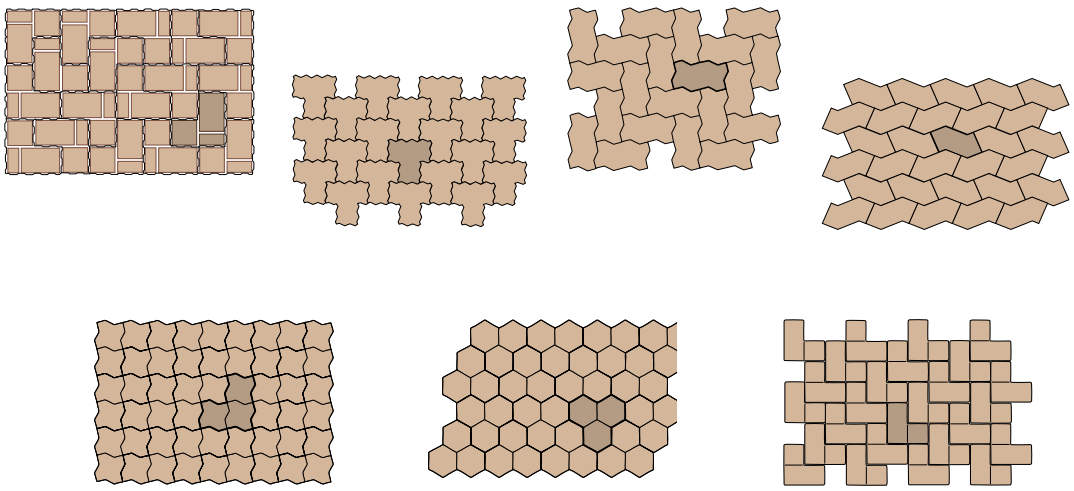
Figur 2. Kantstöd satt i betong (t.v.) och valvkonstruktion (t.h.).



2.4 Låsstenar

På den svenska marknaden finns ett stort urval av markstensbeläggningar. På tungt belastade industriytor bör s.k. låsstenar användas. Dessa har en utformning som säkerställer maximal kraftöverföring mellan stenarna, samtidigt som stenarna inte vrids i förhållande till varandra. I Figur 3 visas några exempel på låsstenar som finns på den svenska marknaden.

Figur 3. Exempel på låsstenar på den svenska marknaden.

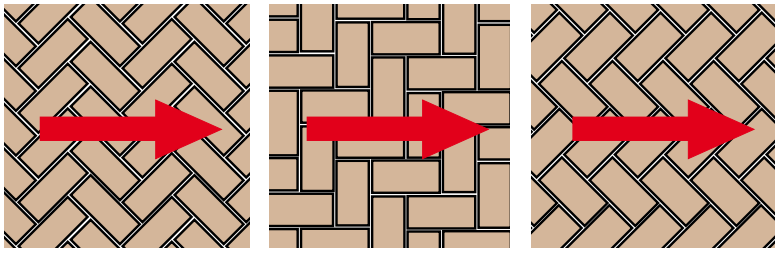


2.5 Välfyllda fogar

Fogen har avgörande betydelse för markstensbeläggningens förmåga att uppta höga trafikbelastningar. Kraftöverföringen mellan stenarna sker via fogsanden. En otillräcklig fogkonstruktion eller bristande eftersandning kan orsaka kantskador på stenarna och öka risken för deformationer. För breda fogar medför att skjuvkraftsöverföringen mellan stenarna försämras och för smala fogar medför risk för kantskador på stenarna. För lite fogsand medför också att kraftöverföringen försämras och att risken för kantskador ökar. Beläggningen ska läggas med ca 3 mm, väl fylld fog. Under första året bör fogarna kontrolleras regelbundet och eftersandas vid behov.

2.6 Optimal körriktning

Marksten kan läggas i många olika mönster. Om rektangulärt formade stenar används bör mönsterläggningen anpassas till den dominerande körriktningen. På industriytor bör block/parkettförband samt traditionellt löpförband undvikas. Bäst lastupptagande förmåga har ett fiskbensmönster som läggs diagonalt mot trafikriktningen. Anpassning av läggningsmönster för rektangulärt formade stenar i förhållande till den dominerande körriktningen framgår av figuren nedan.



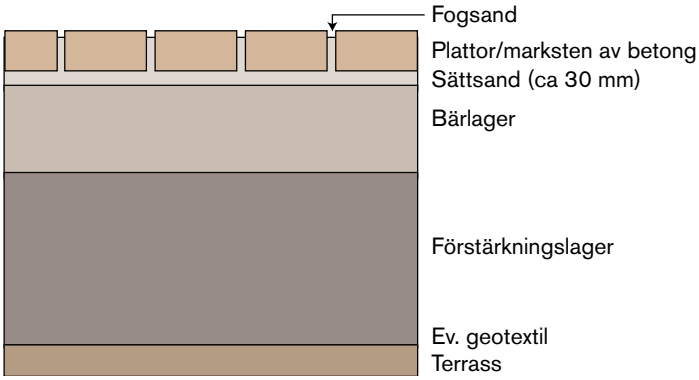
Figur 4. Körriktningen i den vänstra bilden är mest effektiv. Körriktningen i den högra bilden är minst effektiv.

På tungt belastade ytor bör s.k. lås-stenar användas. Här 90 000 m² under utläggning på Gardermoen flygplats, Norge (foto: Durapave AS).

3 Överbyggnad

En markstensöverbyggnad konstrueras enligt AMA 98 eller ATB Väg. Överbyggnaden vilar på terrassen och delas in i förstärkningslager, bärlager och beläggning. Förstärkningslagret utgörs av obundet material eller krossad betong. Bärlagret består av obundet krossat material, asfaltgrus (AG) eller cementbundet grus (CG). Beläggningen består av sättsand, fogsand och marksten av betong. Vald lutning ska gälla för samtliga lager, från terrassnivå till färdig yta, så att varje lager är jämntjockt.

Figur 5. Uppbyggnad av markstensöverbyggnaden.



3.1 Terrass

Terrassens ovanyta är gränsytan mellan överbyggnaden och de i huvudsak naturliga jord- och bergmassorna inom schakt- respektive fyllnadsområdet. Ett materialskiljande lager av geotextil skall användas om det finns risk för materialvandring. Terrassmaterialen delas in i materialtyp (1–6) och tjälfarlighetsklass (1–4) enligt ATB Väg och *Appendix H. Indelning av berg och jordmaterial* eller *Appendix F. Tjällyftning*.

3.2 Förstärkningslager

Förstärkningslagret har flera viktiga uppgifter i en överbyggnadskonstruktion. Det ska bära överliggande lager på ett tillfredsställande sätt samt utgöra en stabil plattform vid utläggning och packning av bärlagret. Förstärkningslagret ska även, helt eller delvis, reducera frostinträngning i undergrunden så att tjällyftnings- och tjällossningsskador begränsas.

Ingående material, utförande, packning samt kontroll skall utföras enligt ATB Väg. Den valda beläggningens lutning gäller även här. I förstärkningslagret kan återvunnen krossad betong användas. Förstärkningslagrets tjocklek dimensioneras utifrån undergrundens tjälfarlighet, materialtyp och aktuell trafikbelastning.

3.3 Obundet bärlager

Bärlagret är ett av överbyggnadens viktigaste lager. Det utgör fundament för beläggningen och ska fördela trafiklasterna till förstärkningslagret och vidare ned till terrassen på ett sådant sätt att deformationer ej uppstår.

Ingående material, utförande, packning samt kontroll skall utföras enligt ATB Väg. Om bärlagret utförs på fel sätt är det mycket troligt att tidiga skador uppkommer. Framför allt är det viktigt att bärlagrets överyta har den jämnhet som krävs enligt ATB Väg och att inga överliggande lager används för att jämna ut nivåskillnader. Bärlagret ska ha sådana egenskaper att överbyggnaden i allt väsentligt behåller sina hållfasthetsegenskaper under hela dimensioneringsperioden. Material till obundna överbyggnadslager framställs vanligen genom krossning och sortering av sprängsten, naturgrus eller morän.

3.4 Bärlager av cementbundet grus (CG)

Vid mycket tung trafikbelastning, t.ex. på industriytor eller vid mycket spårbunden trafik, uppstår i vissa lägen behov av bundna bärlager. Sådana kan utföras med antingen cement- eller asfaltbundet grus. På ytor med extremt tunga laster, t.ex. industri- eller hamnplaner är CG ett mycket bra alternativ att kombinera med markstensbeläggning. Eftersom CG inte är ett visköst material (som t.ex. asfalt) förändras inte materialegenskaperna nämnvärt av tunga statiska belastningar. Speciellt på uppställningsytor eller ytor med mycket långsamgående trafik är därför CG med dess mycket höga styvhet ett bra val.

Forskning pågår för att ta fram nya dimensioneringskriterier för CG. I avvaktan på detta presenteras därför inga dimensioneringstabeller för CG i denna skrift.

Dimensioneringstabeller för CG förväntas vara inkluderade i nästa upplaga av denna skrift samt, så snart det är möjligt, på Svensk Markbetongs hemsida www.svenskmarkbetong.com.

3.5 Bärlager av asfaltgrus (AG)

Bärlager av asfaltgrus är vanligt förekommande på kommunala ytor och fungerar också väl på ytor med tung trafikbelastning. Asfaltgrus är en blandning av stenmaterial med kontinuerlig kornkurva med låg andel finmaterial samt låg halt av bitumen. Sammansättningen av de enskilda komponenterna hos asfaltgrus (eller andra bituminösa bärlagermaterial) beror i stor utsträckning på vilka egenskaper som eftersträvas, såsom deformationsresistens (stabilitet), styvhet, utmattningsmotstånd, vattenkänslighet eller permabilitet.

Eftersom en tungt belastad industriyta ställer höga krav på deformationsresistens (stabilitet) bör andelen okrossat stenmaterial reduceras och ett hårdare bindemedel väljas. Dessa åtgärder kommer i sin tur att öka styvheten hos bärlagret. En beläggning med hög styvhetsmodul har god lastfördelande förmåga och normalt också bra motstånd mot permanenta deformationer. Men med ökad styvhet följer en ökad risk för sprickbildning (minskat utmattningsmotstånd). Sprickbildning ger i sin tur ökad risk för infiltration av vatten ned i överbyggnaden och vidhäftningsproblem i bärlagret. En beläggning med låg styvhetsmodul har sämre lastfördelande förmåga. Däremot har den normalt bättre utmattningsegenskaper och risken för sprickor är mindre. Det bör poängteras att krav på olika egenskaper inte utan vidare kan blandas godtyckligt eftersom det kan finnas konflikter mellan olika krav. Som exempel kan nämnas att ett lager med god stabilitet kan få sämre lågtemperatur- och utmattningsegenskaper. Med andra ord är det svårt att maximera alla egenskaper för samma produkt. Det krävs därför en noggrann avvägning för att uppnå bästa möjliga egenskaper för t.ex. ytor med hög trafikintensitet eller uppställningsytor. För industriytor torde dock deformationsresistens och styvhet vara prioriterade egenskaper.

Bärlager av AG utförs och packas enligt råd och specifikationer i ATB Väg. Typfallen i denna skrift dimensioneras med varierande tjocklek på förstärkningslagret och utgår från konstanta tjocklekar på bärlager. Om andra tjocklekar på bärlager eftersträvas måste särskild dimensionering utföras.

3.6 Terrasstabilisering

Terrasstabilisering är en internationellt mycket använd metod för att öka terrassens bärighet och därigenom minska överbyggnadens tjocklek. Tekniken ger också möjlighet att arbeta vintertid med annars svårhanterade jordar som t.ex. skånsk lermorän. Den befintliga terrassens bärighet ökas genom nedfräsning av bindemedel – oftast cement, granulerad masugnsslagg eller kalk. Metoden är ett kostnadseffektivt alternativ till den idag dominerande tekniken att schakta bort de lösa massorna och återfylla med bärande material. Metoden minskar avsevärt behovet att använda natursten eller krossmaterial. Dessutom undviks trafik- och luftföroreningsproblem som är förknippade med transporter och övrig hantering av bortgrävt material och återfyllnadsmaterial. Användbarheten i olika applikationer har bland annat visats i större projekt vid Yttre Ringvägen i Malmö, Sturups flygplats samt combiterminalen i Helsingborgs hamn. När terrasstabilisering övervägs måste dock särskild dimensionering utföras och terrassens bärighet beräknas innan dimensioneringstabellerna i denna skrift används.

3.7 Sättsand

Sättsanden är markstensbeläggningens bädd. Den ska inte betraktas som ett bärande lager och får heller inte användas för att utjämna nivåskillnader i underliggande lager. Sättsandslagret ska vara 30 mm tjockt. Vid större tjocklek på sättsandslagret, eller om sättsanden används för att utjämna ojämnheter i bärlagret, uppstår risk för lokala deformationer eftersom sättsanden är mer sättningskänslig. För kommunala ändamål rekommenderas normalt fraktionen 0–8 mm enligt Figur 6, vilken även rekommenderas för industriytor. Läggning av sättsand kan med fördel ske med asfaltläggare.

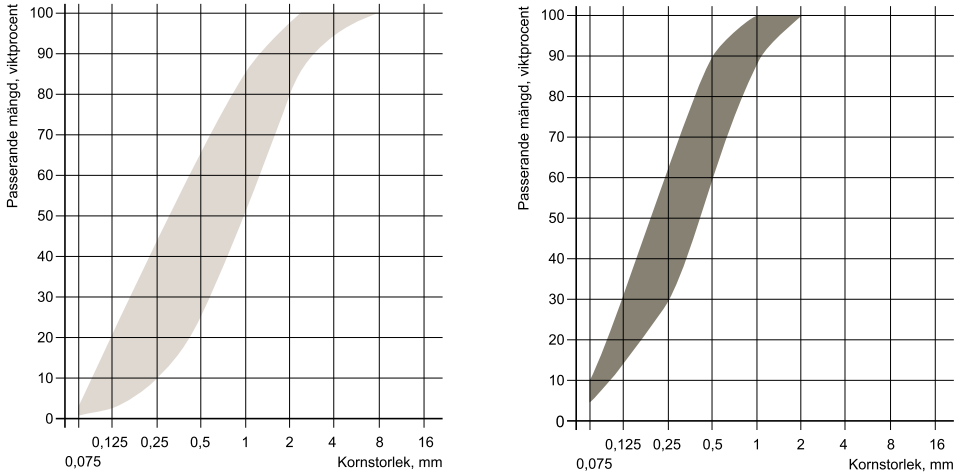
För tungt belastade industriytor har grövre fraktioner, 0–12 mm, tidigare använts med gott resultat. En grövre fraktion ger ett något mera stabilt sättsandslager och därmed lägre risk för deformationer, t.ex. om tjockleken överstiger 30 mm eller om bärlagerytan är ojämn. Att öka kornstorleksfördelningen på sättsanden är dock inte oproblematiskt. Det gäller framför allt om sättsanden har en vattenkvot nära den optimala och packas med vält. Under sådana förhållanden blir sättsanden mycket styv, vilket medför svårigheter att fixera markstenarna och att utjämna eventuella variationer i stenarnas höjdmått.

Om bärlagret utförs enligt de krav (material, packning, nivå) som ställs i ATB Väg är en grövre sättsand normal inte nödvändig. Med rekommenderad kornstorleksfördelning bibehålls förmågan att fixera och utjämna eventuella variationer i stenarnas höjdmått.

3.8 Fogsand

Fogen är en väsentlig del av beläggningen och det är viktigt att fogen är fylld under hela brukstiden för att beläggningen inte ska bli instabil. Komplettering av fogsand ska ske vid behov och fordras normalt vid något tillfälle under det första halvåret. Fogen ska vara ca 3 mm bred. Fogsanden ska bestå av korn från bergarter som inte vittrar och som har en kontinuerlig gradering enligt diagrammet nedan. Torr fogsand eftersträvas vid fogningen, eftersom den lättare tränger ner i fogen.

Figur 6. Siktkurva för sättsand (t.v.) och fogsand (t.h.).



3.9 Krav på överbyggnaden

Krav på ingående material i underbyggnad, förstärkningslager och bärlager, samt utförande, packning och kontroll specificeras i ATB Väg. För obundna bärlager samt förstärkningslager och terrass ställs krav på nivåkontroll. För bundna bärlager ställs krav på jämnhet mätt med rätskiva och för bundna bärlager ställs krav på jämnhet mätt med rätskiva eller mätbil. För industriytor rekommenderas att jämnhetsmätningarna utförs med rätskiva.

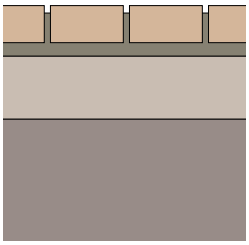
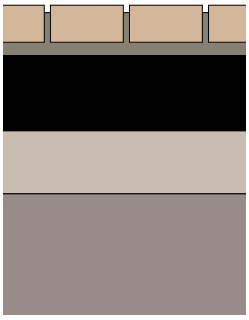
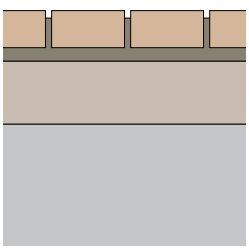
I ATB Väg är utförandet och fördelning av kontrollpunkter för jämnhetsmätning beskriven med avseende på vägar, men kan översättas till att även gälla för industriytor. Dock kan det i vissa lägen uppstå svårigheter med att direkt överföra kraven och anvisningarna till industriytor. Det är därför viktigt att beställare och utförare före byggstart kommer överens om hur tolkning och tillämpning ska ske.

4 Beräkningsförutsättningar

4.1 Typfall

Typfallen består av tre olika överbyggnadstyper; obunden överbyggnad, överbyggnad med bundet bärlager och överbyggnad med förstärkningslager av krossad betong. Slitlagret består i samtliga fall av 100 mm marksten på 30 mm sättsand.

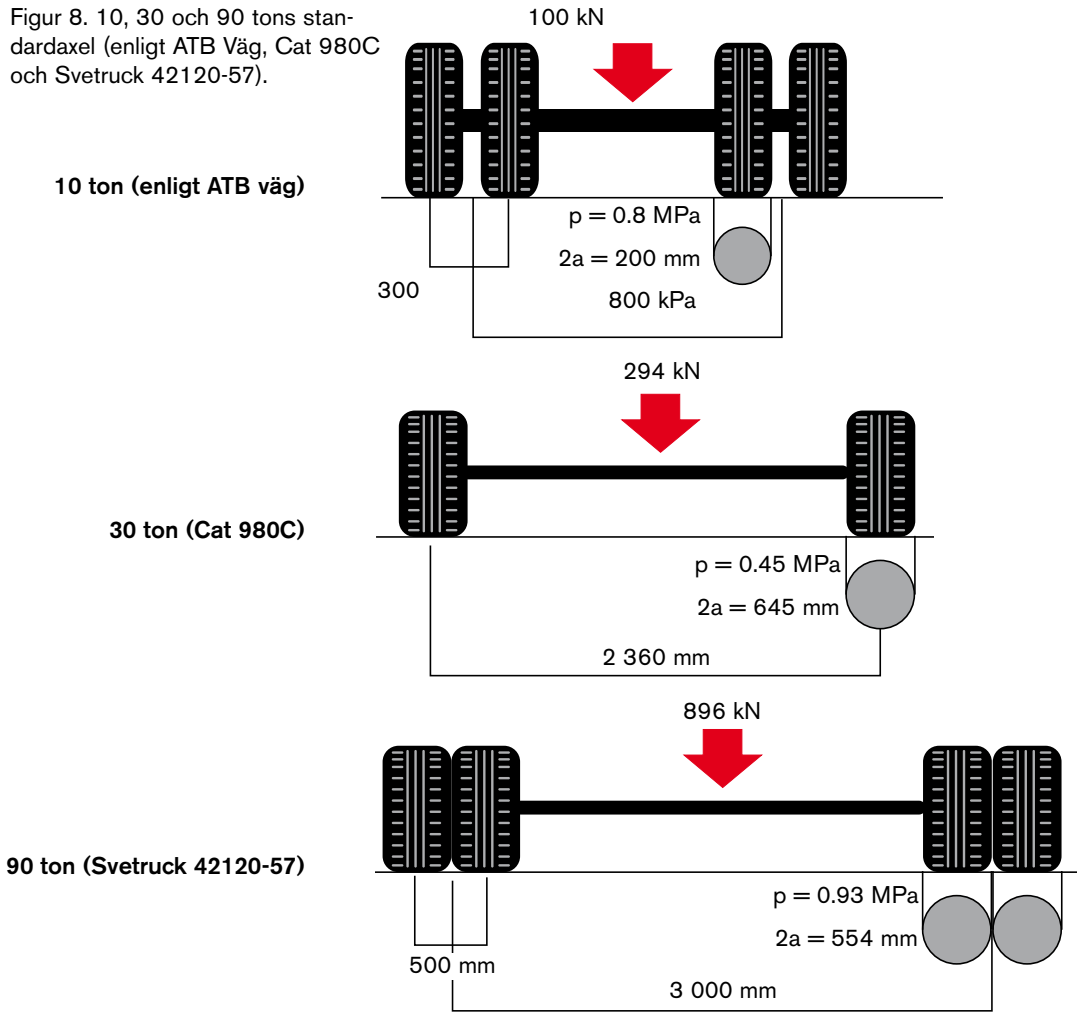
Figur 7. Utformning av typfall.

Fall	Överbyggnadstyper	Schematisk beskrivning	Ingående lager
A	Marksten på obundet bärlager		• 100 mm marksten • 30 mm sättsand • 150 mm obundet (krossat) bärlager • *h* obundet (krossat) förstärkningslager • terrass (materialtyp 1–5)
B	Marksten på asfaltbundet bärlager		• 100 mm marksten • 30 mm sättsand • 100–200 mm AG • 150 mm obundet (krossat) bärlager • *h* obundet (krossat) förstärkningslager • terrass (materialtyp 1–5)
C	Marksten på förstärkningslager av krossad betong		• 100 mm marksten • 30 mm sättsand • 150 mm obundet (krossat) bärlager • *h* förstärkningslager av krossad betong • terrass (materialtyp 1–5)

4.2 Trafikbelastning

De lastfall som behandlas i denna skrift är 10, 30 och 90 tons axellast. 10-tonsaxeln motsvarar ATB Vägs standardaxel. 30- och 90-tonsaxlarna motsvaras av Cat 980C och Svetruck 42120-57. Om belastningen på den industriyta som ska dimensioneras skiljer sig avsevärt från givna lastfall, måste egen utredning och dimensionering utföras.

Figur 8. 10, 30 och 90 tons standardaxel (enligt ATB Väg, Cat 980C och Svetruck 42120-57).

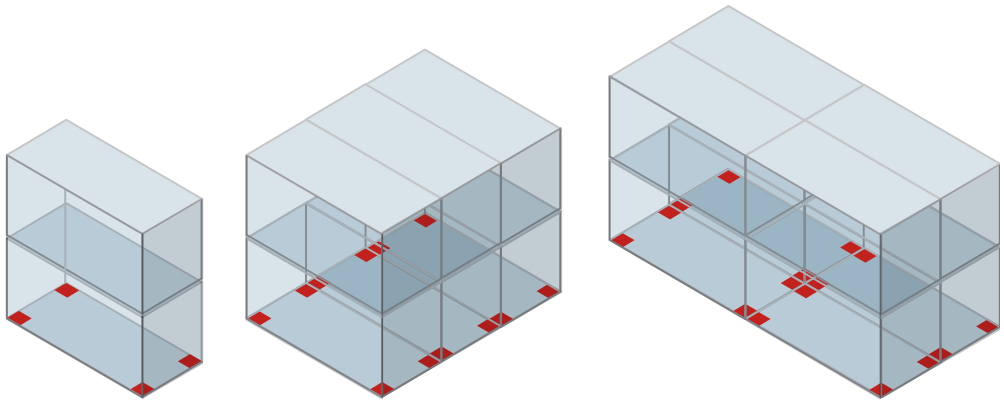


Svetruck containertruck med cirka 90 ton på framaxel vid maximal lyftkapacitet (foto Svetruck).

4.3 Containeruppställning

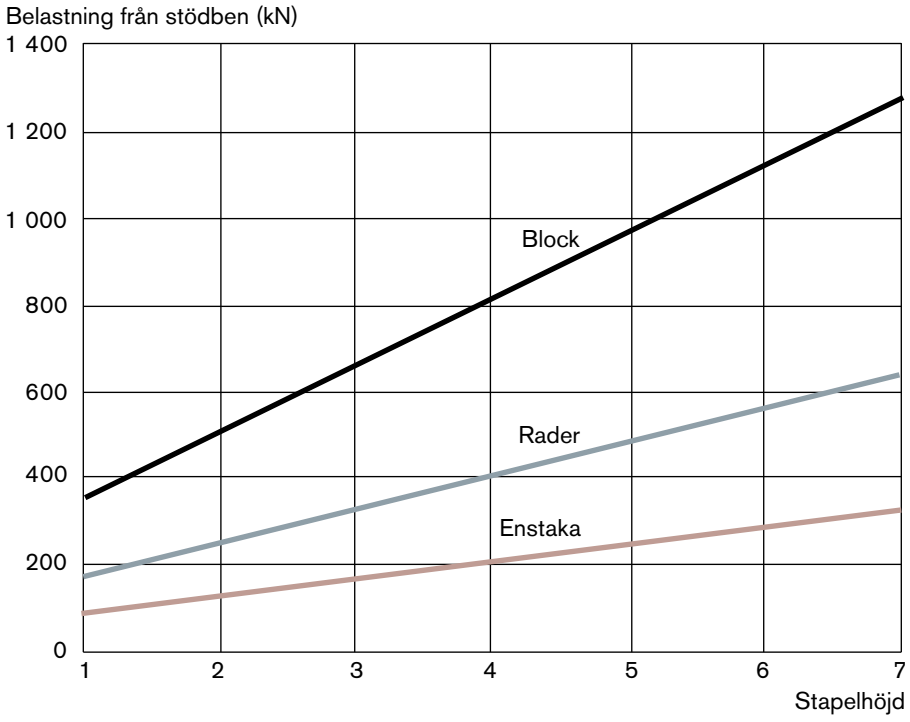
Industriytor används ofta för uppställning av containrar. Staplade containrar kan ge upphov till stora statiska punktlaster under relativt lång tid. Framförallt bitumenbundna och obundna material påverkas av långtidslaster och därför måste särskild dimensionering utföras om ytan ska användas för containeruppställning. För containrar skiljer man på tre olika typer av placering: enstaka, rad eller block enligt Figur 9.

Figur 9. Placering av containrar som enstaka (nedan t.v.), i rader (mitten) och block (nedan t.h.).



Beroende på placering kommer belastningen från ett, två eller fyra stödben att verka på en begränsad yta. Containrar är vanligtvis staplade i rader eller grupper med högst 5 på höjden. I Figur 10 visas hur stor lasten blir om man samtidigt tar hänsyn till att det är osannolikt att samtliga containrar är maxlastade.

Figur 10. Belastning från stödben beroende på containrarnas placering och stapelhöjd. (Schematiskt efter Knapton, J. and Melitiou, M. 1996.)



Stapling av containrar i block (foto: Svetruck).

4.4 Klimatzon

Samtliga beräkningar har gjorts för klimatzon 2, eftersom beräkningar som gjorts för kommunala ytor visat att skillnaderna i erforderlig överbyggnadstjocklek är mycket liten om endast klimatzonen varieras (några cm från klimatzon 1 till 5).

4.5 Tjäle

Dimensionering med hänsyn till tjällyftning har inte beaktats i de olika dimensioneringstabellerna. Vid risk för tjäle måste hänsyn tas till eventuell tjällyftning enligt ATB Väg eller *Appendix F. Tjällyftning*.

4.6 Trafikbelastning

Den dimensionerande trafikbelastningen för en industriyta utgörs av det uppskattade antalet överfarter av en viss standardaxel (10, 30 eller 90 ton). Den största axellasten är dimensionerande, men om ytan i hög grad trafikeras av både lastbilar och tunga truckar, måste tillskottet till den dimensionerande trafikbelastningen från samtliga fordon beaktas. Det görs genom uppskattning av ekvivalent skadefaktor $L_{10, 30, 90}$ för respektive fordons axellast enligt *Appendix D. Ekvivalent skadefaktor.* Ekvivalent skadefaktor för den dimensionerande axellasten är alltid 1. Det bör noteras att antalet 10 eller 30 tons axelpassager måste vara mycket stort i förhållande till antalet 90 tons axelpassager för att det ska ge någon märkbar inverkan på dimensionerande trafikbelastning.

Även trafikmönstret på ytan är av avgörande betydelse för beräkning av den dimensionerande trafikbelastningen och vilken tjocklek överbyggnaden ska ha. Eftersom en industriyta ofta har en relativt stor area är det inte självklart att det totala antalet fordon (eller axlar) som trafikerar ytan ger en rättvis dimensionerande trafikbelastning. I trånga sektioner (t.ex. markerade körfält, lossningsställen eller av- och påfarter) kan den dimensionerande trafikbelastningen vara avsevärt högre än på andra delar av ytan. För större ytor kan det därför vara ekonomiskt att differentiera överbyggnadens uppbyggnad mellan intensivt och sparsamt belastade ytor.

Nedan ges fyra parametrar (A, B, C och D) som beskriver hur trafiken och ytan kan karakteriseras för att underlätta beräkningen av den dimensionerande axellasten. Parametrarna får endast användas som stöd i den egna beräkningen och ersätter inte egen utredning av aktuell trafikbelastning och trafikmönster.

4.7 Andel fordon med full last (A)

På en industriyta kan ofta antas att en viss del av överfarterna sker utan last. Delskadan av trafiklasten från tomma fordon är vanligen försumbar jämfört med den delskada som fullastade fordonen ger upphov till. Om hälften av fordonstrafiken sker utan last kan det beräknade antalet hjulaxlar reduceras till hälften och en reduktionsfaktor A införas. I fallet med hälften tomma fordon kan A sättas till 0.5 (A = 0.5) i nedanstående beräkningsgång. Alternativt tas enbart fullastade fordon med i beräkningen, varför A sätts till 1.0 (A = 1.0). Faktiskt värde på A bör utredas för varje specifikt objekt. Vid osäkerhet väljs ett högre värde på A. A = 1.0 motsvarar att alla fordon är fullastade.

4.8 Antal standardaxlar per tungt fordon (B)

Som utgångspunkt för dimensioneringen används i normalfallet axellasten och kontakttrycket mellan hjul och yta. Axellasten beror av fordonets totalvikt och antal axlar. Kontaktrycket beror bl.a. av hjulets ringtryck och utformning. Kontakttrycket brukar ofta sättas lika med hjulets ringtryck och påverkar i första hand övre delen av överbyggnaden. Axellasten blir allt viktigare för påkänningarna djupare ner i överbyggnaden (> 0.5 m).

I denna skrift delas trafikbelastningen upp i tre typer av standardaxlar; 10, 30 och 90 tons axellast enligt avsnittet om trafikbelastning. Lastbilar och andra transportfordon avsedda för det statliga vägnätet bedöms ligga i gruppen 10 tons axellast. I Sverige är den maximalt tillåtna bruttovikten 60 ton för dessa fordon. Aktuell bruttovikt beror dock på vilken typ av industri fordonen trafikerar. För virkestransporter, t.ex, ligger bruttovikten nära den maximalt tillåtna medan den ligger betydligt lägre för industri som arbetar med skrymmande produkter, t.ex. möbler. Antalet standardaxlar per fordon (för en och samma fordonstyp) beror alltså delvis på vilken typ av industri som ytan används för. I *Appendix I. Antal standardaxlar per tungt fordon* ges generella rekommendationer för hur antalet standardaxlar per fordon ska beräknas enligt ATB Väg.

4.9 Avvikelser från fullständig spårbundenhet (C)

På en industriyta kör fordonen sällan i samma spår. Tidigare analyser visar att avvikelsen från fullständig spårbundenhet innebär en reduktion av det beräkningsmässiga antalet hjulaxlar med 50 %. I beräkningsgången nedan har därför en reduktionsfaktor C, med normalvärdet C = 0.5, införts för att beskriva avvikelsen från fullständig spårbundenhet. Faktiskt värde bör utredas för varje specifikt objekt. Vid osäkerhet väljs ett högre värde på C. C = 1.0 motsvarar hög spårbundenhet.

4.10 Karakterisering av ytan (D)

En industriyta kan ofta delas in i områden med olika trafikmönster. I beräkningsgången nedan används ”transportvägar” och ”uppställningsytor” för att beskriva olika trafikmönster. På ”uppställningsytor”, t.ex. ytor för containeruppställning, är fordonstrafiken sannolikt mycket oregelbunden. I detta fall är sannolikheten låg för att två godtyckligt valda transporter skall färdas över en och samma punkt i beläggningen. En reduktionsfaktor D har därför införts i beräkningsgången nedan. Faktorn D har normalvärdena D = 1.0 för transportväg och D < 1 för uppställningsyta, i det senare fallet kan D = 0.1–0.2 användas. Vissa ytor kan dock vara ett mellanting mellan ”transportvägar” och ”uppställningsytor”. Faktiskt värde på D bör utredas för varje specifikt objekt. Vid osäkerhet väljs ett högre värde på D.

4.11 Beräkningsgång

1. Bestäm avsedd teknisk livslängd (normalt 20 år).

2. Dela vid behov upp ytan i transportväg och uppställningsyta, uppskatta koefficient för spårbundenhet (C) och yta (D) för var och en av dem.

3. Med utgångspunkt av förväntad trafiksituation bestäm dimensionerande fordon (t.ex. fordon med 10, 30 eller 90 tons axellast). Fordon med störst axellast är dimensionerande.

4. Om ytan i hög grad trafikeras av båda lastbilar och tunga truckar måste tillskottet till dimensionerande trafikbelastning från samtliga fordon beaktas genom uppskattning av ekvivalent skadefaktor $L_{10,30,90}$ för respektive fordons axellast enligt *Appendix D. Ekvivalent skadefaktor.* Det bör noteras att t.ex. antalet 10 eller 30 tons axelpassager måste vara mycket stort i förhållanden till antalet 90 tons axelpassager för att få någon märkbar inverkan på dimensionerande trafikbelastning. Ekvivalent skadefaktor för dimensionerande fordon är alltid 1.

5. Bestäm andelen fullastade fordon per fordonstyp ($A_{10,30,90}$).

6. Bestäm antalet tunga axlar per fordonstyp ($B_{10,30,90}$).

7. Bestäm årsdygnstrafik $ÅDT_k$ för dimensionerande axellast enligt pkt. 16. Ekv. (D).

8. Bestäm antal dagar med trafik per år (m).

9. Bestäm korrektionsfaktorn Z (justerar trafikmängden beroende på typ av yta och antal dagar med trafik per år) samt ekvivalenta antal dimensionerande axlar N_{ekv}, enligt pkt 16.

Ekv. (C) och (B). Bestäm dimensionerande trafikbelastning för en industriyta $N_{ind(10,30,90)}$ enligt pkt. 16. Ekv. (A) nedan (dvs. antal passager 10, 30 eller 90-tons axlar under avsedd teknisk livslängd).

10. Bestäm materialtyp i terrassen (enligt ATB Väg).

11. Välj överbyggnadstyp (typfall A, B eller C).

12. Välj erforderlig tjocklek på förstärkningslager för vald överbyggnadstyp enligt tabell eller diagram i *Appendix A. Obunden överbyggnad, Appendix B. Överbyggnad med bundet bärlager (AG)* eller *Appendix C. Överbyggnad med krossad betong*. Värden från tabell eller diagram bör ej extrapoleras utan närmare utredning och egen beräkning.

13. Om ytan används som uppställningsyta för containrar kontrollera erforderlig överbyggnadstjocklek med hänsyn till containerlaster enligt *Appendix E. Containerlaster*.

14. Om risk för tjällyftning anses påverka ytans funktion kontrollera erforderlig överbyggnadstjocklek med hänsyn till tjällyftning enligt *Appendix F. Tjällyftning*.

15. För ytor med dimensionerande fordon med axellast på 10 ton kan efter utredning 80 mm sten användas. Eventuell justering av förstärkningslagrets tjocklek med hänsyn till reduktion i stentjocklek sker enligt *Appendix G. Justering av överbyggnad*. Eventuell justering av bärlagertjocklek från 150 mm till 80 mm görs enligt samma avsnitt. Denna justering gäller även 30 och 90 tons axellast.

16. Antalet överfarter (dimensionerande trafikbelastning) N_{ind} för en industriyta beräknas enligt följande:

Ekv. (A) $N_{ind(10,30,90)} = N_{ekv} \times Z$

Där:

Ekv. (B) $N_{ekv} = ÅDT_k \times 365 \times n$

Ekv. (C) $Z = (m / 365) \times C \times D$ (korrektionsfaktor)

Ekv. (D) $ÅDT_k = L_{10} \times N_{10} \times A_{10} \times B_{10} + L_{30} \times N_{30} \times A_{30} \times B_{30} + L_{90} \times N_{90} \times A_{90} \times B_{90}$

N_{ind} = dimensionerande antal standardaxlar för en industriyta.
N_{ekv} = ekvivalenta antalet standardaxlar.
$ÅDT_k$ = årsdygnstrafik per körfält (spår), dvs. antalet överfarter av dimensionerande axellast per dygn.
$N_{10,30,90}$ = årsdygnstrafik för respektive fordonstyp.
$L_{10,30,90}$ = ekvivalent skadefaktor för 10, 30 respektive 90 ton (om dimensionerande fordon har axellast 10 ton, Dvs N_{10}, är $L_{10} = 1$).
$A_{10,30,90}$ = andelen fullastade fordon per fordonstyp (A = 0.5 kan ofta användas om uppgift saknas, dvs. vartannat fordon fullastat).
$B_{10,30,90}$ = antalet tunga axlar per fordonstyp (B = 1.3–5 kan användas för lastbil/långtradare, B = 1.0 för truckar med merparten av lasten på ena axeln och för gränsletruck används B = antalet axlar). Ytterligare information om val av faktorn B ges i *Appendix I. Antal standardaxlar per tungt fordon.*

365	=	antal dygn per år.
n	=	avsedd teknisk livslängd.
m	=	antal dagar med trafik per år (m = 200 vid trafikering måndag – fredag och uppehåll vid semester, m = 365 vid trafikering under årets alla dagar.
C	=	koefficient som anger graden av spårbundenhet (C = 0.5 kan användas om uppgift saknas).
D	=	koefficient som karakteriserar ytan (D = 1.0 för transportväg och D < 1 för uppställningsyta, i det senare fallet kan D = 0.1–0.2 användas).

Sola Havn, Stavanger (foto: Durapave AS).

Appendix:

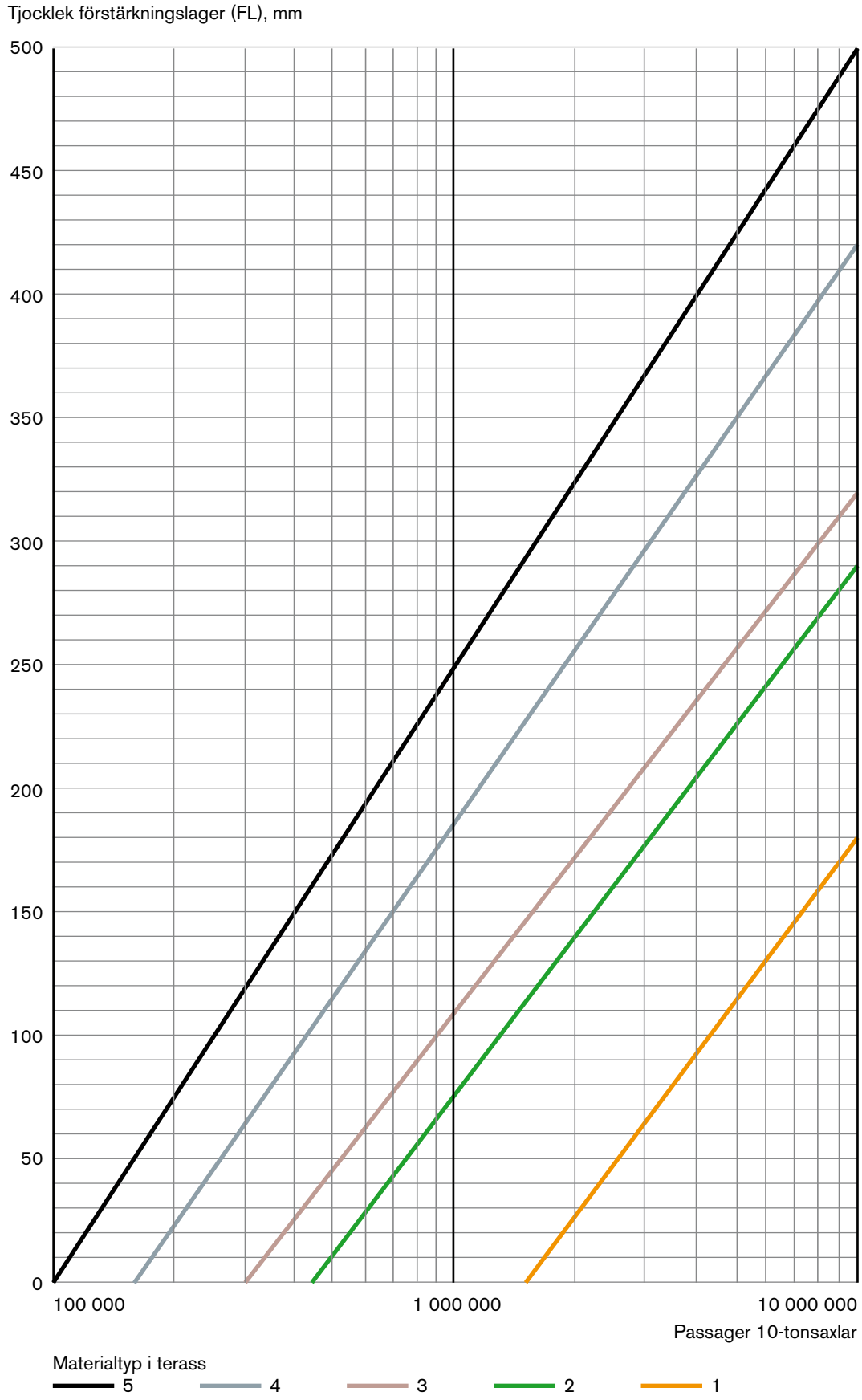
A Obunden överbyggnad

Tabell 2. Förstärkningslagertjocklek (mm) vid 10, 30 eller 90 tons axellast.

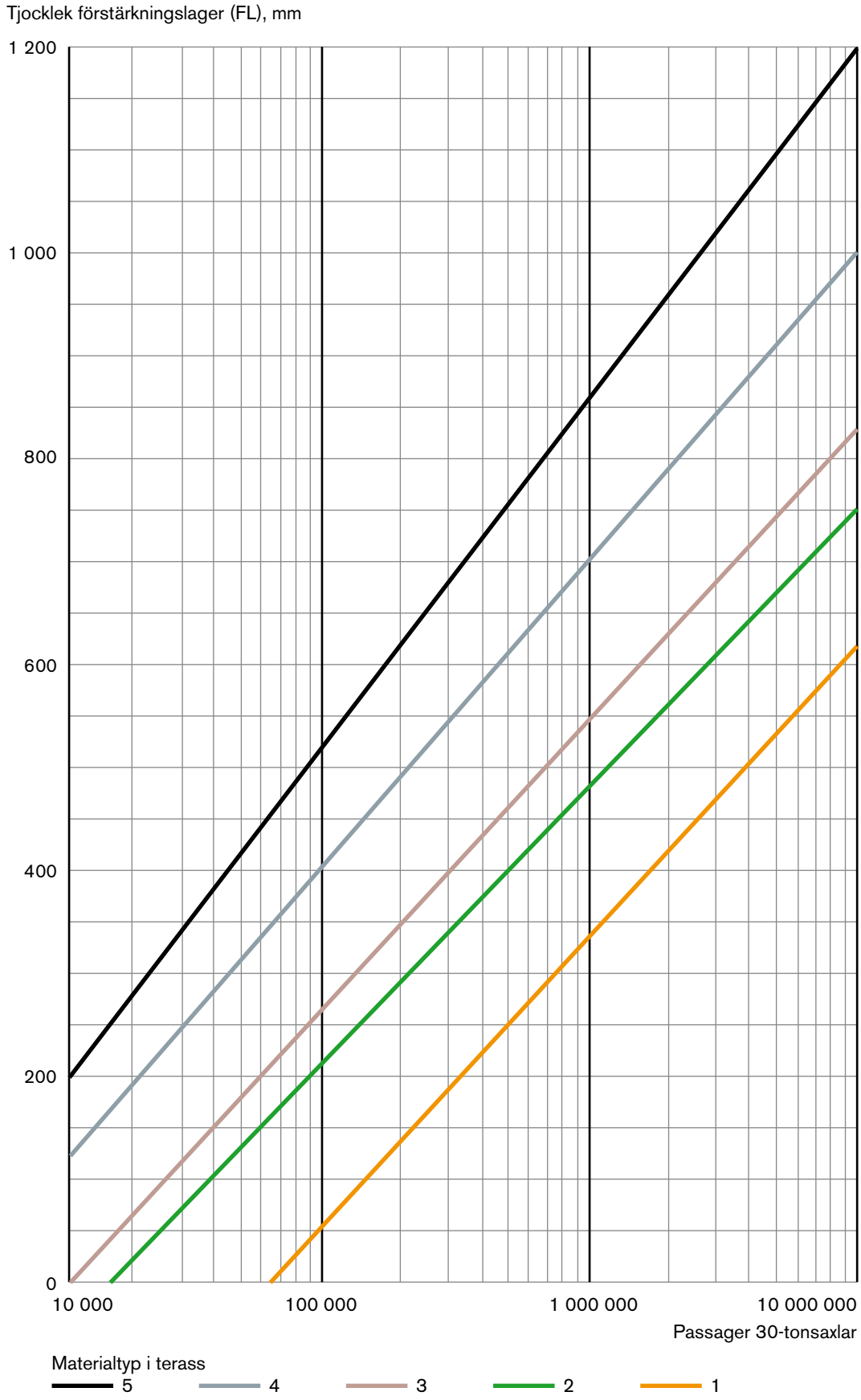
Materialtyp i terrass	Antal överfarter N_{ind} (10-tonsaxlar)						
	10 000	30 000	100 000	300 000	1 000 000	3 000 000	10 000 000
1	0	0	0	0	0	70	180
2	0	0	0	0	70	180	290
3	0	0	0	0	110	210	320
4	0	0	0	70	190	300	420
5	0	0	0	120	250	370	500
	Antal överfarter N_{ind} (30-tonsaxlar)						
1	0	0	50	200	350	480	620
2	0	80	220	350	480	620	750
3	0	140	280	420	550	680	820
4	120	260	400	540	680	820	950
5	200	360	540	700	860	1040	1200
	Antal överfarter N_{ind} (90-tonsaxlar)						
1	200	350	550	750	950	1100	1300
2	350	500	700	900	1100	1300	1500
3	400	600	800	1050	1250	1500	1700
4	500	700	950	1200	1400	1650	1900
5	700	950	1200	1450	1700	1950	2200

Om beräknad tjocklek på förstärkningslagret understiger 200 mm utgår detta och ersätts med bärlagermaterial så att rätt totaltjocklek uppnås.

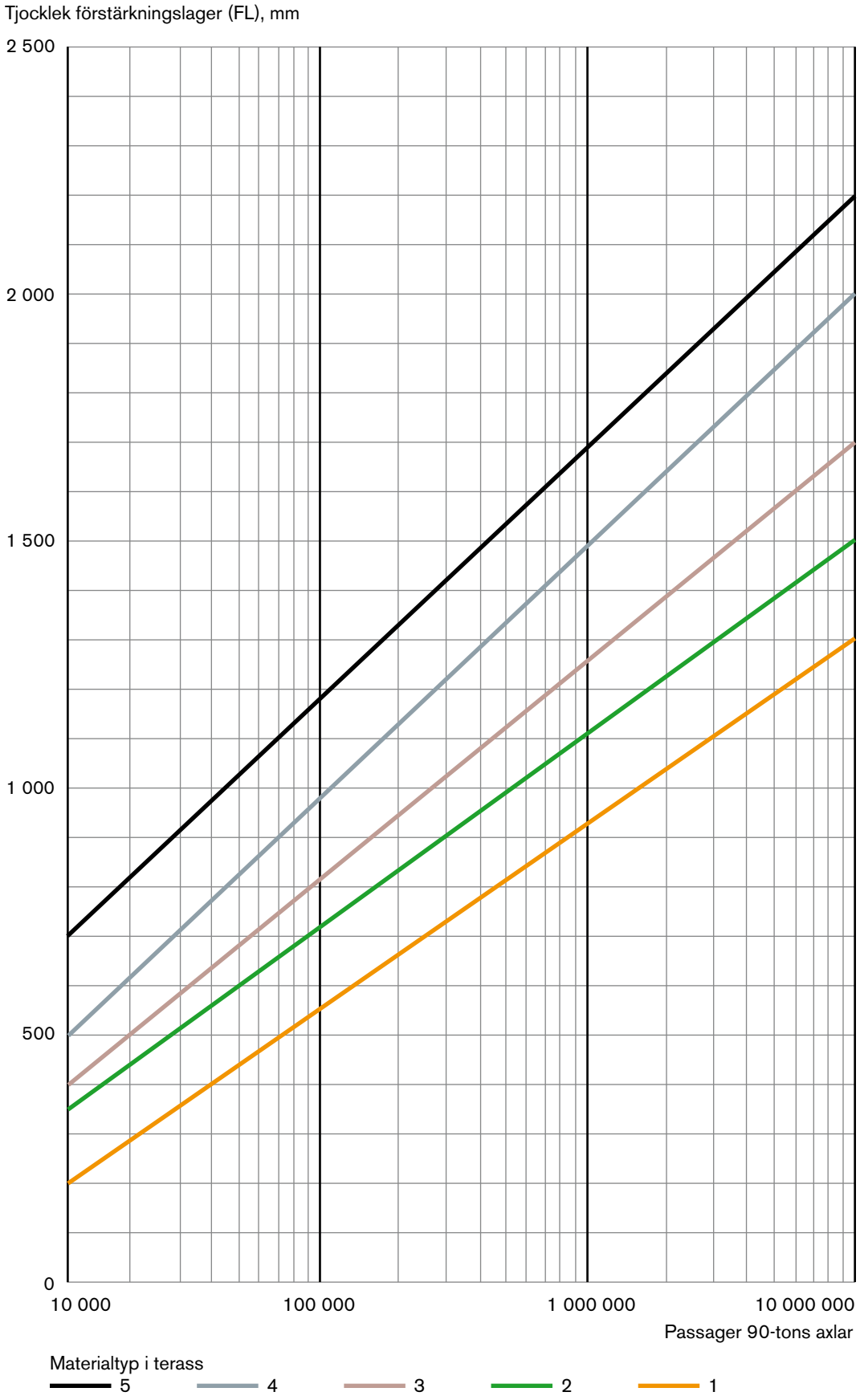
Figur 11. Förstärkningslagertjocklek vid 10 tons axellast (typfall A).



Figur 12. Förstärkningslagertjocklek vid 30 tons axellast (typfall A).



Figur 13. Erforderlig förstärkningslagertjocklek vid 90 tons axellast (typfall A).



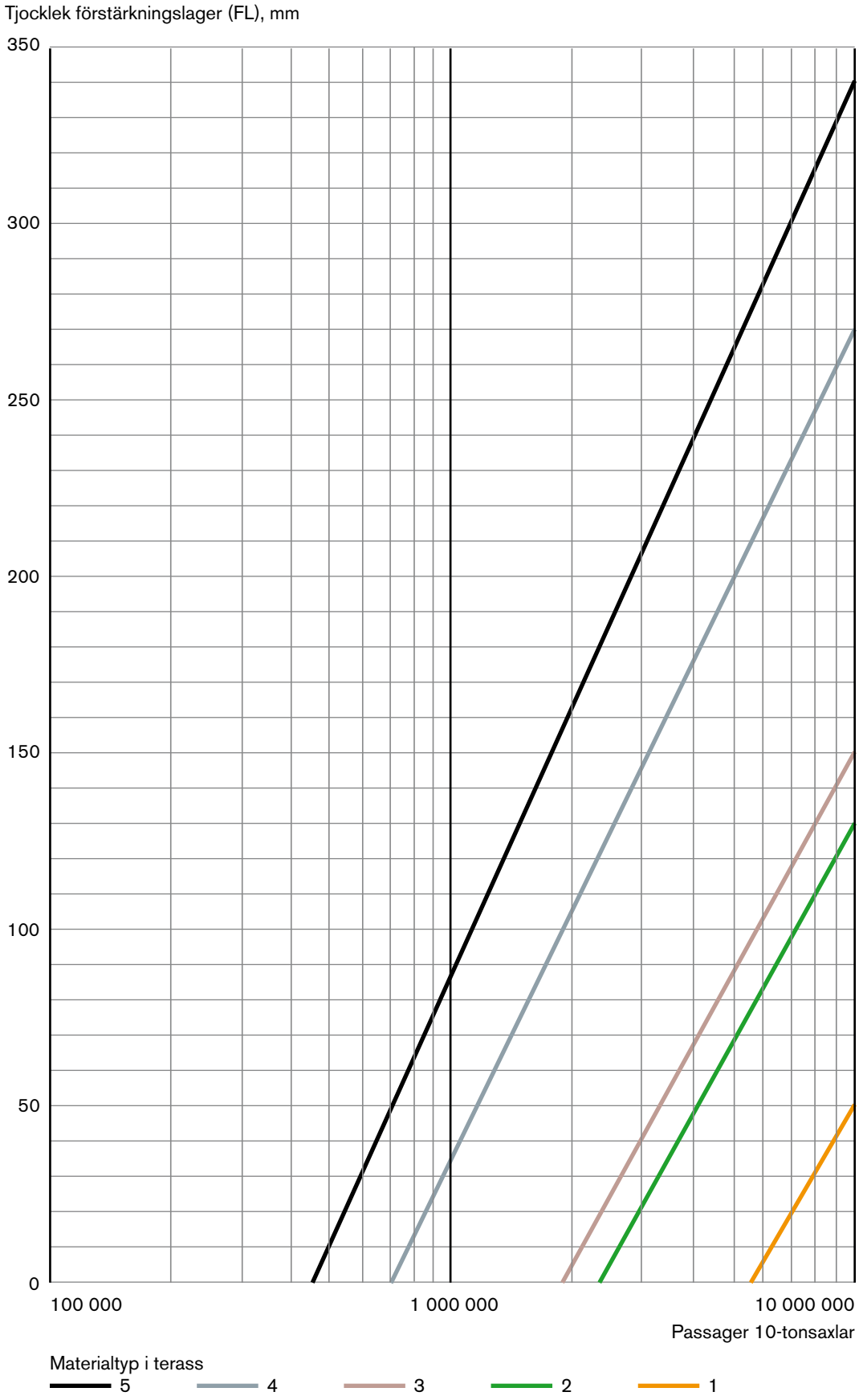
B Överbyggnad med bundet bärlager (AG)

Tabell 3. Förstärkningslagertjocklek (mm) vid 10, 30 eller 90 tons axellast.

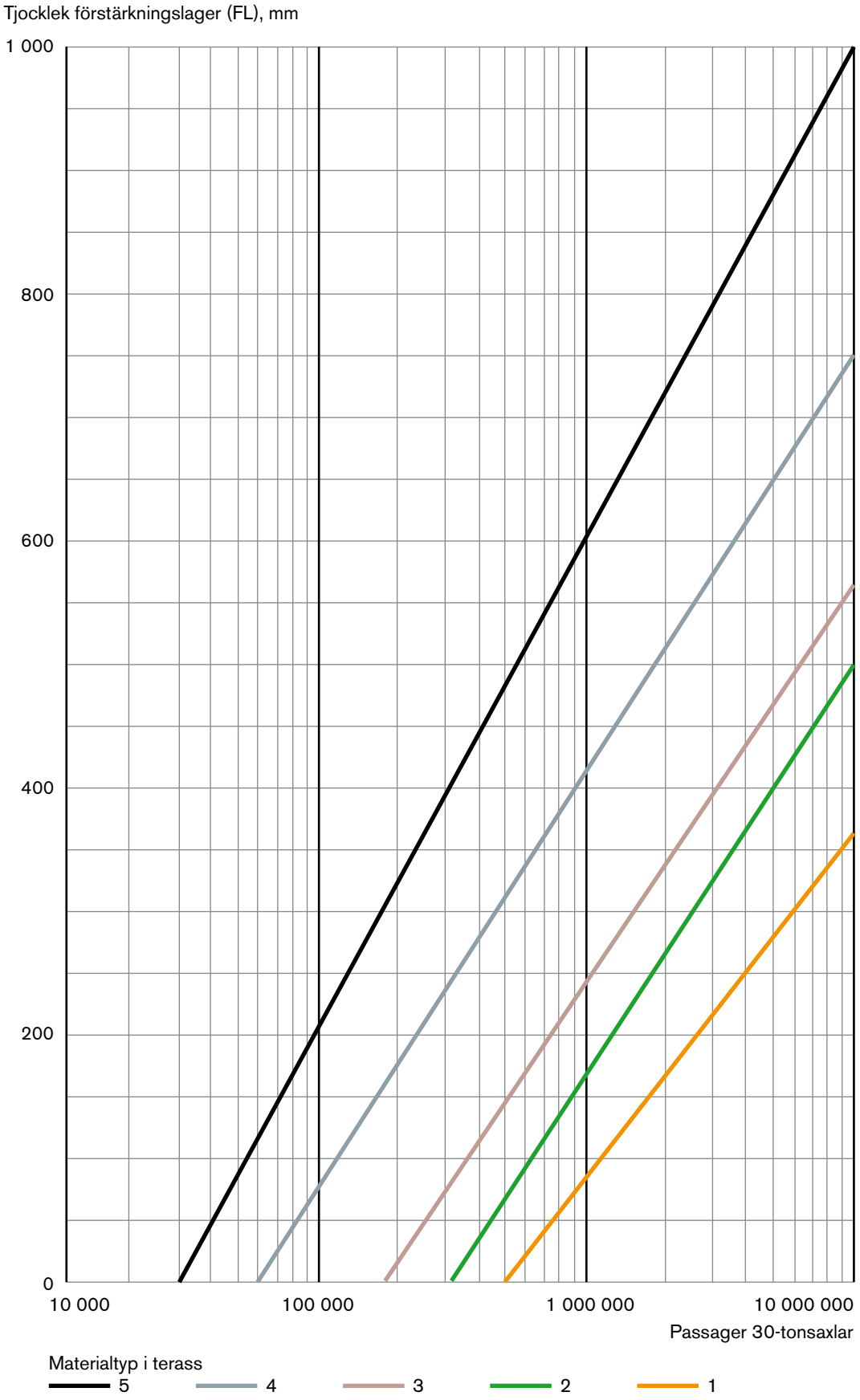
Materialtyp i terrass	Antal överfarter N_{ind} (10-tonsaxlar, 100 mm AG)						
	10 000	30 000	100 000	300 000	1 000 000	3 000 000	10 000 000
1	0	0	0	0	0	0	50
2	0	0	0	0	0	20	130
3	0	0	0	0	0	40	150
4	0	0	0	0	40	150	270
5	0	0	0	0	80	210	340
	Antal överfarter N_{ind} (30-tonsaxlar, 150 mm AG)						
1	0	0	0	0	80	230	370
2	0	0	0	50	200	350	500
3	0	0	0	80	250	410	570
4	0	0	80	240	410	580	750
5	0	0	200	370	580	770	1000
	Antal överfarter N_{ind} (90-tonsaxlar, 200 mm AG)						
1	0	0	200	400	640	870	1100
2	0	140	370	600	840	1050	1300
3	0	230	470	700	940	1160	1400
4	150	370	620	870	1120	1350	1600
5	400	640	900	1150	1400	1650	1900

Om beräknad tjocklek på förstärkningslagret understiger 200 mm utgår detta och ersätts med bärlagermaterial så att rätt totaltjocklek uppnås.

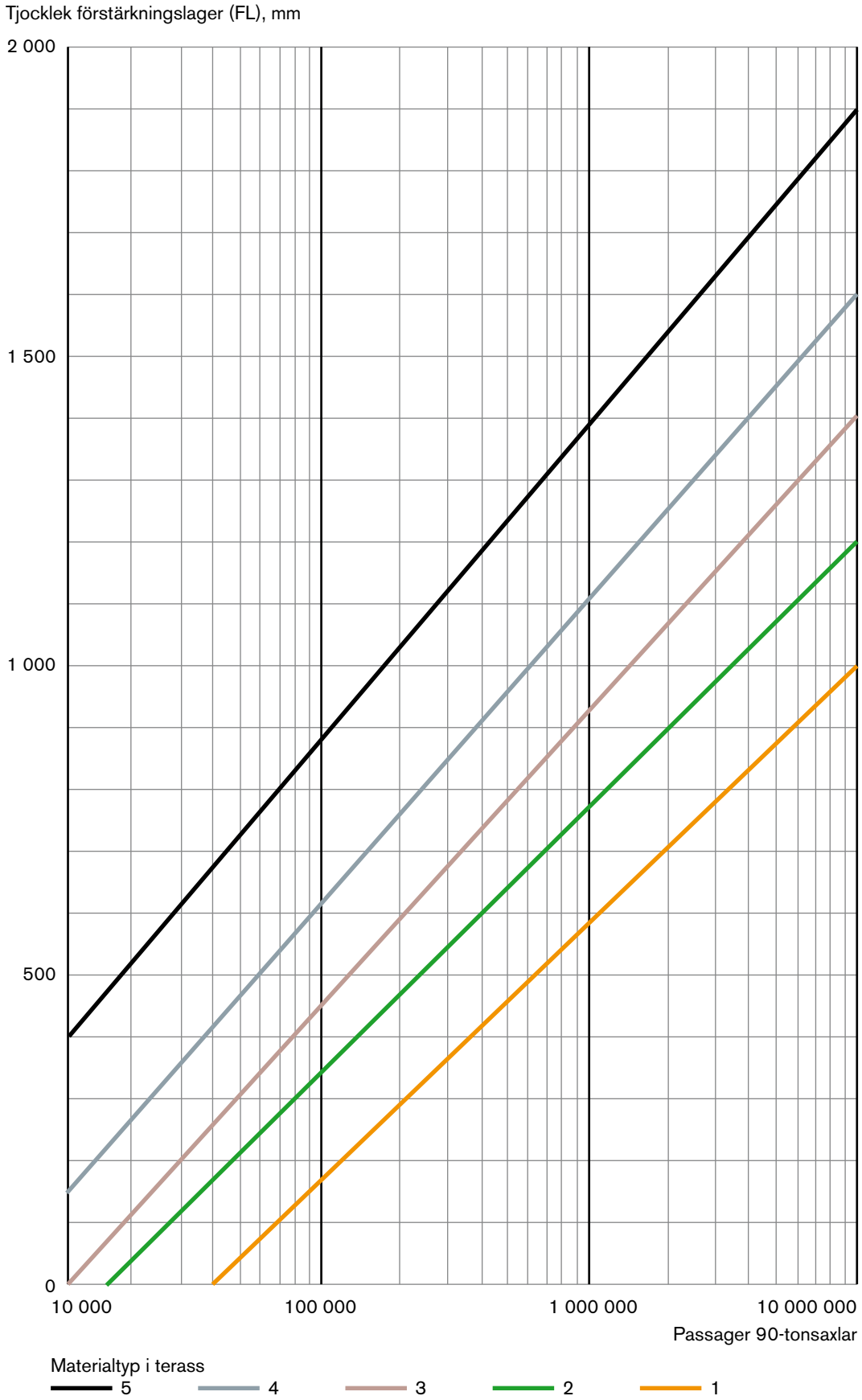
Figur 14. Förstärkningslagertjocklek vid 10 tons axellast (typfall B, 100 mm AG).



Figur 15. Förstärkningslagertjocklek vid 30 tons axellast (typfall B, 150 mm AG).



Figur 16. Förstärkningslagertjocklek vid 90 tons axellast (typfall B, 200 mm AG).



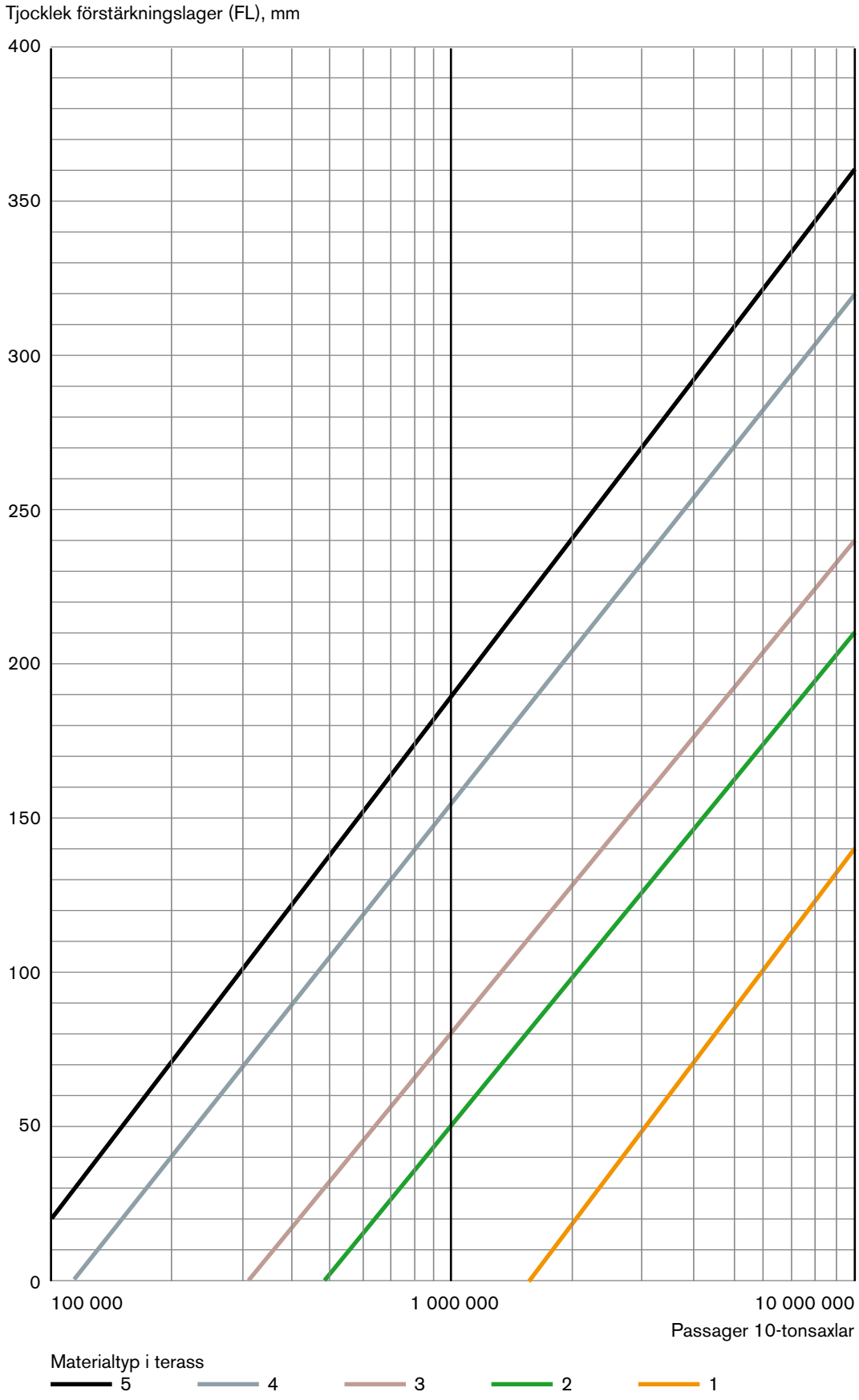
C Överbyggnad med krossad betong

Tabell 4. Förstärkningslagertjocklek (mm) vid 10, 30 eller 90 tons axellast .

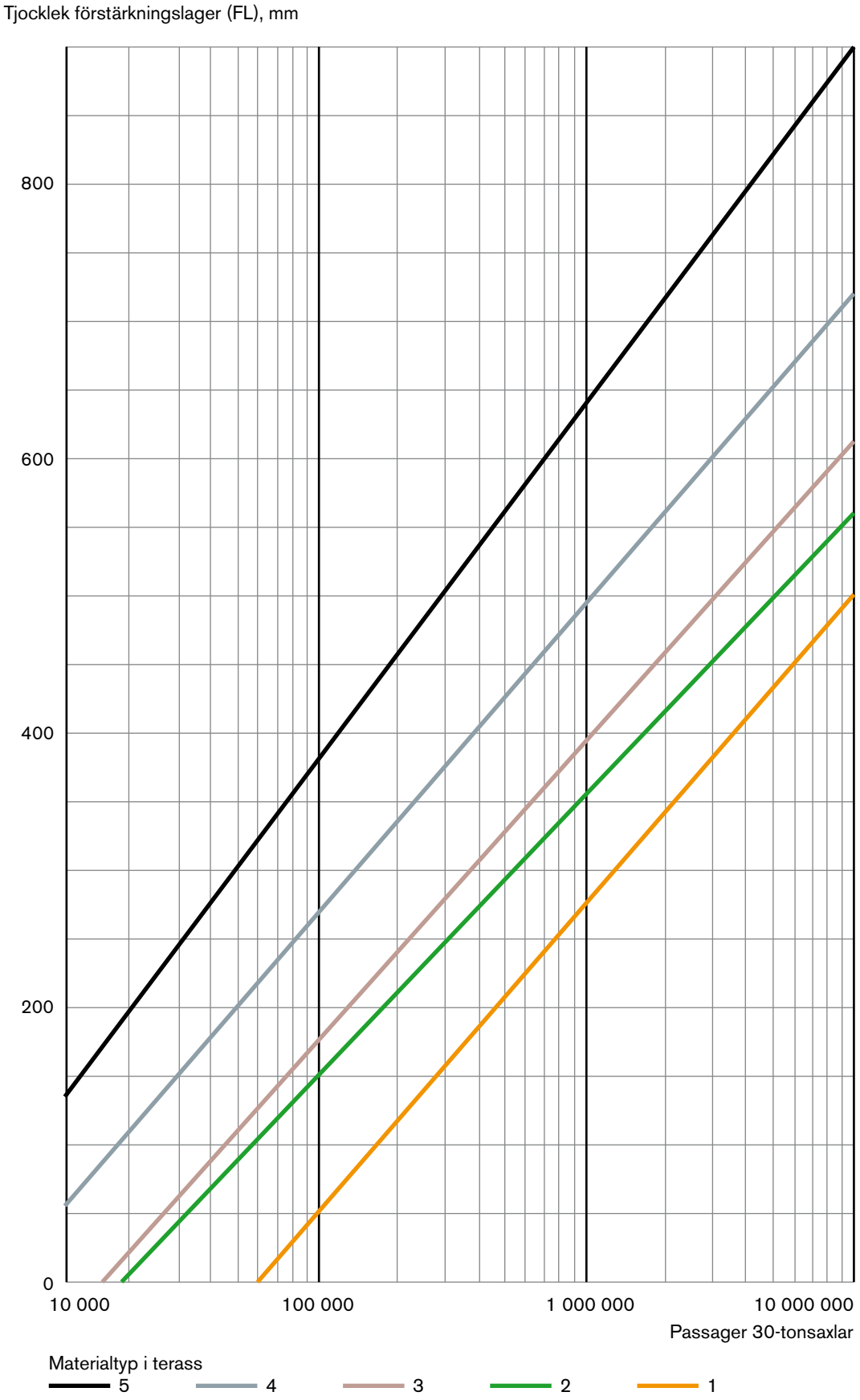
Materialtyp i terrass	Antal överfarter N_{ind} (10-tonsaxlar)						
	10 000	30 000	100 000	300 000	1 000 000	3 000 000	10 000 000
1	0	0	0	0	0	50	140
2	0	0	0	0	50	130	210
3	0	0	0	0	80	160	240
4	0	0	0	70	150	230	310
5	0	0	0	100	190	270	360
	Antal överfarter N_{ind} (30-tonsaxlar)						
1	0	0	50	150	270	380	500
2	0	50	150	250	360	460	570
3	0	80	180	280	390	500	620
4	60	170	280	380	490	600	720
5	130	260	380	510	630	760	900
	Antal överfarter N_{ind} (90-tonsaxlar)						
1	150	300	450	600	770	950	1100
2	250	400	600	750	920	1100	1300
3	300	450	650	850	1020	1200	1400
4	400	600	800	980	1180	1380	1600
5	550	750	1000	1200	1450	1650	1900

Om beräknad tjocklek på förstärkningslagret understiger 200 mm utgår detta och ersätts med bärlagermaterial så att rätt totaltjocklek uppnås.

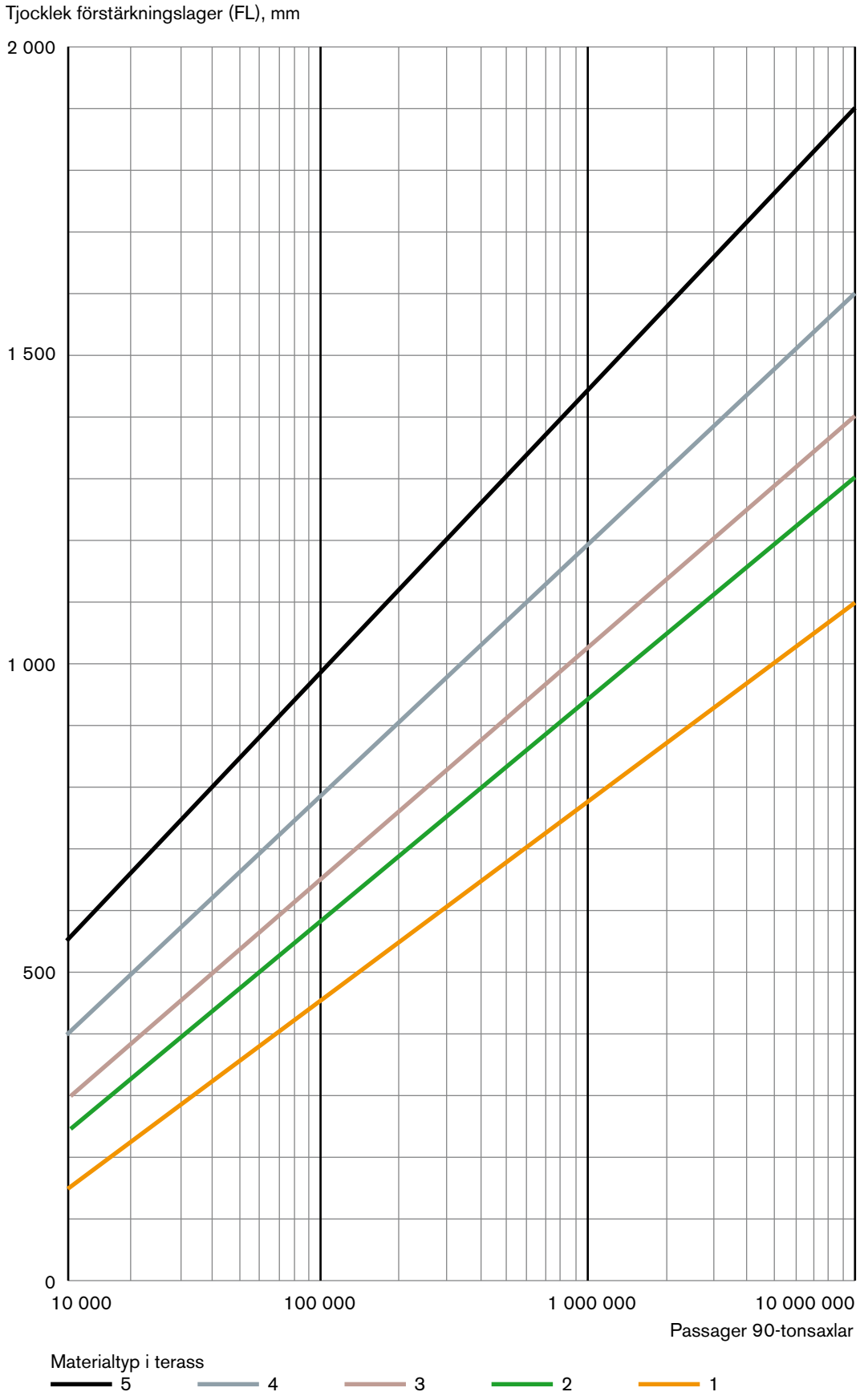
Figur 17. Förstärkningslagertjocklek vid 10 tons axellast, (typfall C).



Figur 18. Förstärkningslagertjocklek vid 30 tons axellast, (typfall C).



Figur 19. Förstärkningslagertjocklek vid 90 tons axellast, (typfall C).



D Ekvivalent skadefaktor

Nedbrytningen av en överbyggnad beror till stor del på vilka axellaster den utsätts för. Förhållandet mellan axellast och faktisk skadeverkan är inte linjärt och beror, förutom axellasten, även på materialtyp i terrass samt överbyggnadens tjocklek och uppbyggnad. Om ytan i hög grad trafikeras av både lastbilar och tunga truckar måste tillskottet till dimensionerande trafikbelastning från samtliga fordon beaktas genom uppskattning av ekvivalent skadefaktor $L_{10, 30, 90}$ för respektive fordons axellast enligt tabellen nedan. Det bör noteras att t.ex. antalet 10 eller 30 tons axelpassager måste vara mycket stort i förhållanden till antalet 90 tons axelpassager för att ge någon märkbar inverkan på den dimensionerande trafikbelastningen. Ekvivalent skadefaktor för dimensionerande fordon är alltid 1.

Givna skadefaktorer gäller för föreslagna överbyggnadstyper (*Appendix A. Obunden överbyggnad, Appendix B. Överbyggnad med bundet bärlager (AG)* och *Appendix C. Överbyggnad med krossad betong)* och axellaster motsvarande ATB Vägs standardaxel, Cat 980C och Svetruck 42120-57. Om slutlig överbyggnadstyp eller dimensionerande axellast avviker från dessa bör aktuell skadefaktor utredas. Ekvivalent skadefaktor för typfall A och C ges i Tabell 5 och för typfall B i Tabell 6.

Tabell 5. Ekvivalent skadefaktor för typfall A och C (*).

Dimensionerande axellast	L_{90}	L_{30}	L_{10}
90 ton	1	0.05	0.001
30 ton	-	1	0.02
10 ton	-	-	1

Tabell 6. Ekvivalent skadefaktor för typfall B (*).

Dimensionerande axellast	L_{90}	L_{30}	L_{10}
90 ton (200 mm AG)	1	0.05	0.0025
30 ton (150 mm AG)	-	1	0.05
10 ton (100 mm AG)	-	-	1

(*) Värdena är framtagna med hjälp av töjningsberäkning.

E Containerlaster

Staplade containrar kan ge upphov till stora punktlaster under relativt lång tid. Containrar ställs vanligen i rader eller grupper, staplade 3 till 5 på höjden. Om ytan används som uppställningsyta för lastade containrar måste slutlig tjocklek på förstärkningslagret överstiga måtten i tabellerna nedan.

Tabell 7. Erforderlig tjocklek på förstärkningslager på uppställningsytor (containerlaster) typfall A (obunden överbyggnad).

Typfall A, obunden överbyggnad					
	Erforderlig förstärkningslagertjocklek (mm)				
		Enstaka containrar			
Materialtyp i terrass	**Stapelhöjd 1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	150	360	480	550	580
2	300	550	680	770	800
3	420	700	860	960	1020
4	450	720	890	980	1040
5	650	1040	1340	1670	1720
		Containrar i rad			
1	380	660	820	910	950
2	580	900	1100	1210	1260
3	740	1140	1420	1600	1720
4	770	1160	1420	1600	1720
5	1120	1720	1720	1720	1720
		Containrar block			
1	700	1060	1280	1400	1460
2	960	1420	1680	1720	1720
3	1220	1720	1720	1720	1720
4	1240	1720	1760	1910	1980
5	1720	1720	1800	1960	2050

Tabell 8. Erforderlig förstärkningslagertjocklek på uppställningsytor (containerlaster) typfall B (150 mm bundet bärlager (AG).

Typfall B, bundet bärlager (AG)					
		Erforderlig förstärkningslagertjocklek (mm)			
		Enstaka containrar			
Materialtyp i terrass	**Stapelhöjd 1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	0	200	320	400	420
2	140	380	520	600	640
3	260	530	700	800	850
4	290	560	720	820	870
5	480	870	1180	1500	1570
		Containrar i rad			
1	230	500	660	750	800
2	420	740	940	1050	1100
3	580	980	1260	1440	1520
4	600	1000	1260	1440	1520
5	960	1570	1570	1570	1570
		Containrar block			
1	540	900	1120	1240	1300
2	800	1250	1520	1570	1570
3	1060	1570	1570	1570	1570
4	1070	1570	1600	1760	1820
5	1570	1570	1640	1800	1880

Tabell 9. Erforderlig förstärkningslagertjocklek på uppställningsytor (containerlaster) typfall C (överbyggnad med krossad betong).

Typfall C, överbyggnad med krossad betong					
		Erforderlig förstärkningslagertjocklek (mm)			
		Enstaka containrar			
Materialtyp i terrass	**Stapelhöjd 1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	120	300	390	440	470
2	230	410	520	580	610
3	310	500	620	690	720
4	320	520	640	710	740
5	460	690	870	980	1040
		Containrar i rad			
1	310	520	650	720	760
2	440	680	820	900	940
3	530	810	990	1100	1160
4	550	830	1000	1100	1160
5	750	1200	1660	1720	1720
		Containrar block			
1	560	840	1010	1110	1160
2	720	1050	1260	1380	1440
3	860	1320	1680	1720	1720
4	880	1320	1560	1720	1720
5	1280	1720	1720	1720	1720

F Tjällyftning

Om det finns risk för tjällyftning och detta anses påverka ytans funktion bör den slutliga överbyggnadstjockleken överstiga de mått som ges i tabellen nedan. Måtten i tabellen uppfyller jämnhetskraven enligt ATB VÄG, dvs. normal vägstandard, och är därför strängare än vad som normalt krävs på en industriyta. Klimatzonsindelning framgår av bilden nedan.

Figur 20. Indelning av Sverige i klimatzoner (efter ATB Väg).

Tabell 10. Minsta överbyggnadstjocklek vid risk för tjällyftning (mm).

	Klimatzon				
Tjälfarlighetsklass	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
3	-	-	200	375	1 150
4	-	-	545	1 000	1 250

Tabell 11. Tjälfarlighetsklasser enligt ATB Väg.

Tjälfarlighets-klass	Beskrivning	Exempel på jordarter
1	Icke tjällyftande jordarter	Gr, Sa, sa Gr, gr Sa, Gr Mn, Sa Mn, T. Omfattar grovkorniga jordarter samt organiska jordarter med organisk halt > 20 %.
2	Något tjällyftande jordarter	si Sa, si Gr, si Sa Mn, si Gr Mn. Omfattar blandkorniga jordarter med finjordshalt ≤ 30 viktprocent.
3	Måttligt tjällyftande jordarter	Le, Le Mn, si Mn, si J. Finkorniga jordarter med lerhalt > 40 viktprocent, blandkorniga jordarter med finjordshalt > 30 viktprocent.
4	Mycket tjällyftande jordarter	Si, le Si, si Le, Si Mn. Omfattar finkorniga jordarter med lerhalt ≤ 40 viktprocent.

G Justering av överbyggnad

Typfall A och C utgår från 100 mm stentjocklek och 150 mm obundet bärlager. För ytor med dimensionerande fordon med max 10 tons axellast kan 100 mm stentjocklek ersättas med 80 mm. Även bärlagertjockleken kan med fördel justeras från 150 mm till 80 mm, förutsatt att krossat material används. Reduktion av sten- eller bärlagertjocklek förutsätter att förstärkningslagrets tjocklek ökas enligt tabell. Justering av bärlagertjocklek gäller även ytor med 30 och 90 tons axellast. Dimensionera överbyggnaden enligt typfall A eller C och justera överbyggnaden enligt tabellen nedan. För typfall B bör eventuell justering utredas närmre. Tabellen är baserad på jämförande töjningsberäkningar mellan överbyggnader.

Tabell 12. Justering av överbyggnadstjocklek för typfall A och C (mm).

Max axellast (ton)	90/30/10	10	10
Stentjocklek	100	100→80	100→80
Bärlager (krossad)	150→80	150	150→80
Förstärkningslager (krossad)	+70	+35	+105

H Indelning av berg- och jordmaterial

Vid dimensionering av överbyggnaden ur belastningssynpunkt utgår man från egenskaperna hos berg- och jordmaterialet i terrassen. Indelning av materialtyper sker enligt ATB Väg och återges i Tabell 13. Byggande på materialtyp 6 omfattas inte av givna dimensioneringstabeller, varför egen dimensionering måste utföras. Före byggande på materialtyp 6 ska utredning ske med avseende på bärighet, stabilitet, sättningar och tjälfarlighet.

För överbyggnad på terrass av materialtyp 1 gäller enligt ATB Väg särskilda krav. Beroende på fyllningens tjocklek används normalt 200 mm förstärkningslager. Förstärkningslagrets överyta används som beräkningsnivå för töjningar. I denna rapport har de i ATB Väg uppställda kraven för materialtyp 1 inte beaktats specifikt. Redovisade beräkningar rörande materialtyp 1 avser bergbank tunnare än 0.7 m och med nivå för töjningsberäkningar i överkant av banken. För ytterligare information om överbyggnad på materialtyp 1 hänvisas till ATB Väg.

Tabell 13. Indelning av jord och berg (enligt ATB Väg).

Materialtyp	Jordartsgrupp enligt SGF 81 resp. bergtyp	Tilläggsvillkor [viktprocent]	Exempel på jordarter
1	Bergtyp 1 och 2		
2	Block- och stenjordarter samt grovkorniga jordarter	Organisk halt ≤ 2 %	Bl, St, Gr, Sa, sa Gr, gr Sa, Gr Mn, Sa Mn,
3	Bergtyp 3 samt vissa blandkorniga jordarter	Finjordshalt ≤ 30 % Organisk halt ≤ 2 %	si Sa, si Gr, si Sa Mn, si Gr Mn
4a	Blandkorniga jordarter med hög finjordshalt	Finjordshalt > 30 % Organisk halt ≤ 2 %	le Mn
4b	Finkorniga jordarter	Lerhalt > 40 % Organisk halt ≤ 2 %	Le, Le Mn,
5	Finkorniga jordarter, samtliga organiska mineraljordarter	Lerhalt ≤ 40 % Organisk halt ≤ 6 %	Si, le Si, si Le, Si Mn, gy Le, dy Si
6	Övriga jordarter och material i underbyggnad och undergrund		T, Dy, si Dy, Gy, Mu, sa Mu, le Gy, alternativa material

I Antal standardaxlar per tungt fordon

Trafikbelastningen på en industriyta delas upp i tre typer standardaxlar; 10, 30 och 90 tons axellast enligt avsnitt om trafikbelastning. Lastbilar och andra transportfordon avsedda för det statliga vägnätet bedöms tillhöra gruppen 10 tons axellast. Truckar och andra tunga arbetsfordon som enbart opererar på ytan i fråga kan, beroende på vikt och antal axlar, hamna i samtliga grupper. Dessa arbetsfordon har dock i regel få axlar varför antalet och bruttovikterna ofta är relativt väl definierade.

I denna skrift används Svetruck 42120-57 som exempel på fordon med 90 tons axellast. Trucken har egenvikten 57 ton och en lastkapacitet på ca 42 ton. Vid full last antas merparten av lasten ligga på ena axeln, varför det i detta fall blir endast en standardaxel (90 ton) per fordon. Normalt sätts B = 1.0 för truckar med merparten av lasten på ena axeln och för gränsletruck används B = antalet axlar.

Om antalet olastade men tunga arbetsfordon beräknas vara stort och kan förväntas påverka överbyggnadens tjocklek, utgår man från att egenvikten fördelas på truckens två axlar. Det ger i detta fall (Svetruck 42120-57) 2 st. 30-tons standardaxlar per fordon. Antalet 30 tons axlar räknas sedan om till 90 tons axlar med hjälp av ekvivalent skadefaktor enligt *Appendix D. Ekvivalent skadefaktor*. För lättare fordon är delskadan av trafiklasten från tomma fordon försumbar jämfört med den som fullastade fordon ger upphov till.

Som tumregel kan man använda sig av den s.k. 4-potensregeln och uppskatta hur stor skadeverkan en viss axel har i förhållande till en standardaxel (ekvivalent skadefaktor) enligt följande:

$$\text{Ekvivalent skadefaktor} = \left(\frac{L_x}{10,\ 30 \text{ el } 90} \right)^4, \text{ där } L_x \text{ är aktuell axellast.}$$

Av 4-potensregeln följer att 10 000 st 1 tons axellaster ger samma skadeverkan på överbyggnaden som en passage av en 10-tonsaxel och att en 9-tonsaxel motsvarar 0.65 st passager av en 10-tonsaxel (av samma typ).

Antalet standardaxlar (10 tons) för en lastbil med maximalt tillåten bruttovikt på 20 ton (7 ton på framaxel och 18 ton på bakre boggieaxel) kan uppskattas enligt följande:

$$B_{10} = \left(\frac{7}{10} \right)^4 + 2^{\times} \left(\frac{9}{10} \right)^4 = 1.55 \approx 1.6$$

Det skall påpekas att 4-potensregeln är en mycket grov uppskattning av relativ skadeverkan som bl.a. beror på typ av överbyggnad, lagertjocklekar, totaltjocklek och styvhet.

I Tabell 14 framgår rekommenderade värden på antal standardaxlar per tungt fordon. Tabellen får endast uppfattas som en grov uppskattning och ersätter inte egen utredning. För ytterligare information om hur antalet standardaxlar kan uppskattas hänvisas till ATB Väg.

Tabell 14. Standardaxlar per tungt fordon (efter ATB Väg)

Fordonståg och lastbilar	B
Fordon för transport av skrymmande produkter (max 60 ton fordonsvikt)	1.3–4.0
Fordon för transport av tunga produkter (max 60 ton fordonsvikt)	3.0–5.0
Arbetsfordon (truckar) med merparten av lasten liggande på ena axeln	1.0
Arbetsfordon (tunga truckar) olastade	Antal axlar
Arbetsfordon (gränsletruckar)	Antal axlar

J Exempel:

1. Tillfartsväg färjeterminal, Skåne

Tillfartsväg färjeterminal.

Förutsättningar

Trafiklast:	Huvudsakligen lastbil (25 ton) samt släp (30 ton), ca 30 per dag (7-tons enkel samt 18-tons boggieaxel på lastbil samt 2 st 15-tons boggieaxlar på släp).
Trafikmönster:	Transportväg (separerade filer för lastbils- och personbilstrafik), hög spårbundenhet.
Konstruktionstyp:	Obunden överbyggnad (typfall A).
Terrass:	Lermorän.
Antal dagar med trafik per år:	340. Klimatzon 1.

Beräkningsgång

1. Teknisk livslängd 20 år (n = 20).

2. Transportväg (D = 1.0), hög spårbundenhet (C = 1.0).

3. Ytan trafikeras enbart av lastbilar där max axellast för enstaka axlar (alltså ej boggieaxel) uppgår till 10 ton, dvs. dimensionerande axellast = 10 ton.

4. Enbart 10-tonsaxlar ger $L_{10} = 1$, $L_{30} = 0$ och $L_{90} = 0$.

5. Uppgift om andelen fullastade fordon per fordonstyp saknas, vi antar att A = 0.5.

6. Detaljerad uppgift om antalet tunga axlar per fordonstyp saknas. Med utgångspunkt av vanligt förekommande bruttovikter (ca 25 ton för lastbil och 30 ton för släp) samt antagande om ca 18 ton boggieaxel på lastbil samt 2 st 15 tons boggieaxlar på släp ger fyrpotensregeln att $B_{10} = 2.9$.

7. Beräkna årsdygnstrafik per körfält ($ÅDT_k$)
   $ÅDT_k = L_{10} \times N_{10} \times A_{10} \times B_{10} + L_{30} \times N_{30} \times A_{30} \times B_{30} + L_{90} \times N_{90} \times A_{90} \times B_{90}$
   $= 1 \times 30 \times 0.5 \times 2.9 = 43.5$ dimensionerande axlar per dygn.

8. Antal dagar med trafik per år m = 340.

9. Bestäm dimensionerande trafikbelastning $N_{ind(10)}$
   $Z = (m / 365) \times C \times D = (340 / 365) \times 1.0 \times 1.0 = 0.93$
   $N_{ekv} = ÅDT_k \times 365 \times n = 43.5 \times 365 \times 20 = 317\,550$
   $N_{ind(10)} = N_{ekv} \times Z = 317\,550 \times 0.93 = 295\,800 \sim 300\,000$ Dimensionerande trafikbelastning uppgår till ca 300 000 st. 10-tonsaxlar.

10. Enligt Tabell 13 motsvarar lermorän materialtyp 4.

11. Val av överbyggnadstyp enligt typfall A (obunden överbyggnad).

12. Tabell 2 ger förstärkningslagertjocklek = 70 mm (100 marksten, 30 mm sättsand, obundet bärlager = 150 mm)

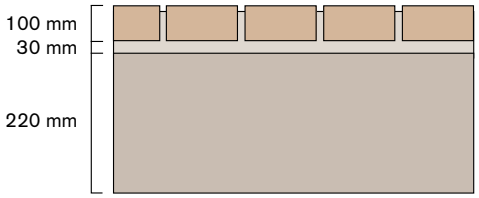
13. Ytan används inte som containeruppställning, kontroll för detta behövs ej.

14. Kontroll av minsta överbyggnadstjocklek med avseende på tjällyftning enligt *Appendix F. Tjällyftning* ger att justering ej behövs.

15. Om beräknad tjocklek på förstärkningslagret, som i detta exempel, blir mindre än 200 mm, utgår detta och ersätts med bärlagermaterial så att rätt totaltjocklek uppnås, dvs. bärlagertjocklek blir 150 + 70 = 220 mm

Slutlig överbyggnad blir:

Marksten	100 mm
Sättsand	30 mm
Bärlager	220 mm



2. Containerterminal i Skåne

Containeruppställning på industriyta.

Förutsättningar

Trafiklast:	Ytan används för uppställning av containrar och trafikeras huvudsakligen av två containertruckar motsvarande Svetruck 42120-57 (ca 90 ton på framaxel vid transport av maximalt lastad container). Totalt 30–40 containrar per dag transporteras på ytan. Containrar placeras i block och staplas max 4 i höjd. P.g.a. god tillgång ska krossad betong användas som förstärkningslager.
Trafikmönster:	Oregelbundet trafikmönster. Dimensionera för fordonslast och kontrollera tjocklek med avseende på containeruppställning.
Konstruktionstyp:	Överbyggnad med krossad betong som förstärkningslager (typfall C).
Terrass:	Lermorän.
Antal dagar med trafik per år:	340. Klimatzon 1.

Beräkningsgång

1. Teknisk livslängd 20 år (n = 20).

2. Osäkerhet råder om hur ytan kommer att trafikeras och den karakteriseras därför som

transportväg (D = 1.0). På ytan som ska dimensioneras finns dock inga körfält eller trånga passager så spårbundenheten bedöms vara låg (C = 0.5).

3. Ytan trafikeras enbart av 90-tons containertruckar med merparten av lasten på ena axeln, dvs. dimensionerande axellast = 90 ton.

4. Ytan trafikeras enbart av 90-tons containertruckar vilket ger $L_{10} = 0$, $L_{30} = 0$ och $L_{90} = 1$.

5. Uppgift om andelen fullastade fordon per fordonstyp saknas, antag dock att A = 1.0.

6. Ytan trafikeras enbart av 90-tons containertruckar med merparten av lasten på ena axeln vilket ger $B_{90} = 1.0$.

7. Beräkna årsdygnstrafik per körfält ($ÅDT_k$)
   $ÅDT_k = L_{10} \times N_{10} \times A_{10} \times B_{10} + L_{30} \times N_{30} \times A_{30} \times B_{30} + L_{90} \times N_{90} \times A_{90} \times B_{90}$
   $= 1 \times 40 \times 1.0 \times 1.0 = 40$ dimensionerande axlar per dygn

8. Antal dagar med trafik per år m = 340.

9. Bestäm dimensionerande trafikbelastning $N_{ind(90)}$
   $Z = (m / 365) \times C \times D = (340 / 365) \times 0.5 \times 1.0 = 0.47$
   $N_{ekv} = ÅDT_k \times 365 \times n = 40 \times 365 \times 20 = 292\,000$
   $N_{ind(10)} = N_{ekv} \times Z = 292\,000 \times 0.47 = 137\,240 \sim 140\,000$
   Dimensionerande trafikbelastning uppgår till ca 140 000 st. 90-tonsaxlar

10. Enligt Tabell 13 motsvarar lermorän materialtyp 4.

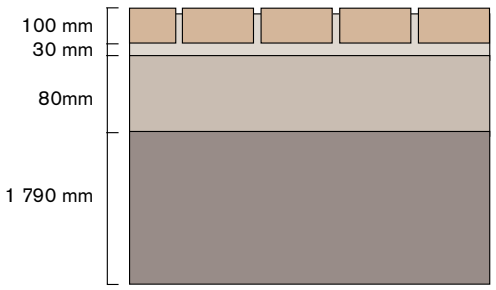
11. Val av överbyggnadstyp enligt typfall C (överbyggnad med förstärkningslager av krossad betong).

12. Tabell 4 (interpolering) eller Figur 19 ger förstärkningslagertjocklek = 860 mm (100 marksten, 30 mm sättsand, 150 mm obundet bärlager).

13. Ytan används som containeruppställning, enligt Tabell 9 är minsta förstärkningslagertjocklek 1 720 mm. Överbyggnaden blir då: 100 marksten, 30 mm sättsand, 150 mm obundet bärlager och 1 720 mm förstärkningslager av krossad betong.

14. Kontroll av minsta överbyggnadstjocklek med avseende på tjällyftning enligt Tabell 10 ger att justering behövs ej.

15. Bärlagret justeras från 150 mm till 80 mm enligt Tabell 12. Detta medför att total förstärkningslagertjocklek blir 1 720 + 70 = 1 790 mm.



3. Centrallager möbelindustri, Småland

IKEA i Jönköping.

Förutsättningar

Trafiklast:	Lagret har 12 utlastningsramper som omhändertar maximalt 10 fordon per arbetsdag. Samtliga fordon passerar samma tillfartsväg fram till lagret. Huvudsakligen lastbilar (med och utan släp).
Trafikmönster:	120 fullastade fordon passerar tillfartsvägen varje dag. Transportväg, hög spårbundenhet.
Konstruktionstyp:	Överbyggnad med asfaltbundet bärlager (typfall B).
Terrass:	Silt (materialtyp 5).
Antal dagar med trafik per år:	300. Klimatzon 2.

Beräkningsgång

1. Teknisk livslängd 20 år (n = 20).

2. Transportväg (D = 1.0), hög spårbundenhet (C = 1.0).

3. Ytan trafikeras enbart av lastbilar där max axellast för enstaka axlar (alltså ej

boggieaxel) uppgår till 10 ton, dvs. dimensionerande axellast = 10 ton.

4. Enbart 10-tonsaxlar ger $L_{10} = 1$, $L_{30} = 0$ och $L_{90} = 0$.

5. Vi räknar enbart på fullastade fordon (120 st. per dag), vi antar att A = 1.0.

6. Uppgift om antalet tunga axlar per fordonstyp saknas. Dock transporteras mest skrymmande produkter. Vi antar att $B_{10} = 1.3$.

7. Beräkna årsdygnstrafik per körfält ($ÅDT_k$)
   $ÅDT_k = L_{10} \times N_{10} \times A_{10} \times B_{10} + L_{30} \times N_{30} \times A_{30} \times B_{30} + L_{90} \times N_{90} \times A_{90} \times B_{90}$
   $= 1 \times 120 \times 1.0 \times 1.3 = 156$ dimensionerande axlar per dygn

8. Antal dagar med trafik per år m = 300.

9. Bestäm dimensionerande trafikbelastning $N_{ind(10)}$
   $Z = (m / 365) \times C \times D = (300 / 365) \times 1.0 \times 1.0 = 0.82$
   $N_{ekv} = ÅDT_k \times 365 \times n = 156 \times 365 \times 20 = 1\,138\,800$
   $N_{ind(10)} = N_{ekv} \times Z = 1\,138\,800 \times 0.82 = 933\,816 \sim 1\,000\,000$
   Dimensionerande trafikbelastning uppgår till ca 1 000 000 st. 10-tonsaxlar

10. Enligt Tabell 13 motsvarar silt materialtyp 5.

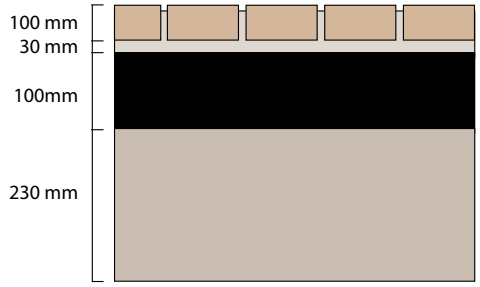
11. Vi väljer överbyggnadstyp enligt typfall B (överbyggnad med bundet bärlager).

12. Tabell 3 ger förstärkningslagertjocklek = 80 mm (100 marksten, 30 mm sättsand, bundet bärlager (AG) 100 mm, obundet bärlager = 150 mm och förstärkningslager 80 mm).

13. Ytan används inte som containeruppställning, kontroll för detta behövs ej.

14. Kontroll av minsta överbyggnadstjocklek med avseende på tjällyftning enligt *Appendix F. Tjällyftning* ger att justering ej behövs.

15. Om beräknad tjocklek på förstärkningslagret, som i detta exempel, blir mindre än 200 mm, utgår detta och ersätts med bärlagermaterial så att rätt totaltjocklek uppnås, dvs. bärlagertjocklek blir 150 + 80 = 230 mm



4. Skogsindustriyta i södra Norrland

Lageryta för virke (foto: Svetruck).

Förutsättningar

Trafiklast:	Ytan (ca 30 000 m^2) skall användas som lageryta för virke. Ca 100 st. virkestransporter (fordonsvikt 60 ton) anländer per dag. Virket tas om hand av en truck motsvarande Cat 980C (ca 30 ton på framaxeln vid lyft av virke). På ytan opererar även en tyngre truck motsvarande Svetruck 42120-57 (ca 90 ton på framaxel vid transport av virke) för diverse omlastningar på ytan.
Trafikmönster:	I den mest kritiska sektionen (ca 25 x 25 m) trafikerar samtliga fordonstyper med full last (dock med relativt låg spårbundenhet). I den kritiska sektionen passerar samtliga fullastade virkestransporter, ca 100 per dag, och uppskattningsvis ca 50 passager av 30-tonsaxeln. Även 90-tonsaxeln passerar den kritiska sektionen ca 10 ggr per dag. Dimensionera kritisk sektion.
Konstruktionstyp:	Obunden överbyggnad, alternativt överbyggnad med krossad betong i förstärkningslagret (typfall A och B).
Terrass:	Siltig sand.
Antal dagar med trafik per år:	260. Klimatzon 4.

Beräkningsgång

1. Teknisk livslängd 20 år (n = 20).

2. Osäkerhet råder om hur den kritiska sektionen kommer att trafikeras så vi antar att D = 1.0. På ytan som ska dimensioneras finns dock inga körfält eller trånga passager, så spårbundenheten bedöms vara låg (C = 0.5).

3. Högsta axellast på ytan är 90 ton, dvs. dimensionerande axellast = 90 ton.

4. Ytan trafikeras i omfattande grad av flera fordonstyper, dvs. både 90-, 30- och 10-tons axellaster. Tillskottet till dimensionerande trafikbelastning från samtliga fordon beaktas genom uppskattning av ekvivalent skadefaktor $L_{10, 30, 90}$ för respektive fordons axellast enligt *Appendix D. Ekvivalent skadefaktor*. För obunden överbyggnad ger Tabell 5 $L_{10} = 0.001$, $L_{30} = 0.05$ och $L_{90} = 1$.

5. Uppgift om andelen fullastade fordon per fordonstyp saknas, vi antar dock att $A_{10,30,90} = 1.0$.

6. Ytan trafikeras av flera fordonstyper som samtliga skall beaktas i beräkningen. Efter utredning samt med ledning av *Appendix I. Antal standardaxlar per tungt fordon* uppskattas antalet tunga axlar (10 ton) per virkestransport uppgå till 5 per fordon ($B_{10}= 5$). 30- och 90-tons containertruckar med merparten av lasten på ena axeln ger $B_{30,90} = 1.0$.

7. Beräkna årsdygnstrafik per körfält ($ÅDT_k$)

$$ÅDT_k = L_{10} \times N_{10} \times A_{10} \times B_{10} + L_{30} \times N_{30} \times A_{30} \times B_{30} + L_{90} \times N_{90} \times A_{90} \times B_{90}$$
$$= 0.001 \times 100 \times 1.0 \times 5 + 0.05 \times 50 \times 1.0 \times 1.0 + 1 \times 10 \times 1.0 \times 1.0$$
$$= 0.5 + 2.5 + 10 = 13 \text{ axlar (90 tons) per dygn}$$

8. Antal dagar med trafik per år m = 260.

9. Bestäm dimensionerande trafikbelastning $N_{ind(90)}$

$$Z = (m / 365) \times C \times D = (260 / 365) \times 0.5 \times 1.0 = 0.36$$
$$N_{ekv} = ÅDT_k \times 365 \times n = 13 \times 365 \times 20 = 94\,900$$
$$N_{ind(10)} = N_{ekv} \times Z = 94\,900 \times 0.36 = 34\,164 \sim 35\,000$$

Dimensionerande trafikbelastning uppgår till ca 35 000 st. 90-tonsaxlar.

10. Enligt Tabell 13 motsvarar siltig sand materialtyp 3.

11. Räkna på obunden överbyggnad samt överbyggnad med krossad betong i förstärkningslagret.

12. Obunden överbyggnad: Tabell 2 (interpolering) eller Figur 13 ger förstärkningslagertjocklek = 620 mm (100 marksten, 30 mm sättsand, 150 mm obundet bärlager). Total överbyggnadstjocklek = 900 mm.

    Överbyggnad med krossad betong: Tabell 4 (interpolering) eller Figur 19 ger förstärkningslager av krossad betong = 470 mm (100 mm marksten, 30 mm sättsand, 150 mm obundet bärlager). Total överbyggnadstjocklek = 750 mm.

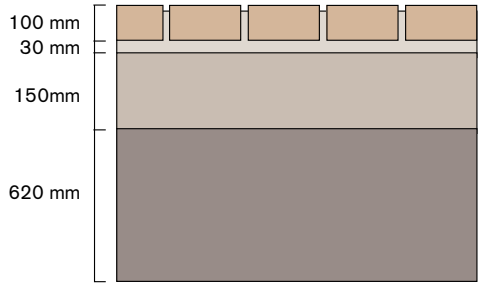
13. Ytan används inte för containeruppställning.

14. Kontroll av minsta överbyggnadstjocklek med avseende på tjällyftning enligt Tabell 10 ger att justering ej behövs.

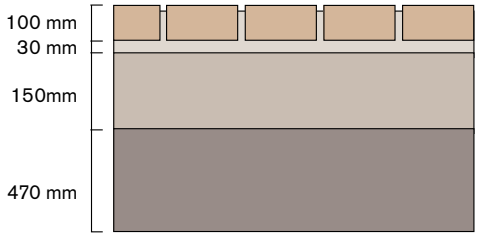
15. Bärlagret justeras ej i detta exempel.

Val av slutlig överbyggnadstyp görs genom övervägande av ekonomi och materialtillgång.

Typfall A



Typfall C



Referenser

Anlägga ytor med plattor och marksten av betong – Praktisk handbook (2002). Svensk Markbetong och Svenska Kommunförbundet. ISBN 91-7289-116-5.

Anläggnings AMA 98, Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. Svensk Byggtjänst, 1999.

ATB VÄG (2004). Vägverket, Borlänge, Publikation 2004:111.

Beläggning med plattor och marksten av betong, projekteringsanvisningar och rekommendationer (2002). Svensk Markbetong och Svenska Kommunförbundet, Andra upplagan, ISBN 91-7289-067-3.

Betonbelægninger – Anvendelse, udførelse og vedligeholdelse af befæstelser med belægningssten, fliser og kantsten (2001). Belægningsfraktionen, Dansk Beton Industriforening (DBI).

Betong på mark, platsgjutna lösningar (2002). Svensk Byggtjänst AB och Cementa AB, ISBN 91-7332-995-9.

Carlsson, H. (2001). *Livslängd på markstenskonstruktioner*. VTI Notat 49-2001, Väg- och trafikinstitutet, Linköping.

Carlsson, H. (2003). *Livslängd på markstenskonstruktioner vid trucktrafik*. VTI Notat 29-2003, Väg- och trafikinstitutet, Linköping

Cementa och miljön (1997). Broschyr från Cementa AB, Danderyd.

Farang, A. (2002). *Dimensionering av platsgjutna betongbeläggningar för kommunala ytor.* KTH Rapport 67, 2002.

Jordarternas indelning och benämning (1984), SGF 81, Byggforskningsrådet, Serie T 1984:21.

Knapton, J., Melitiou, M. (1996). *The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries*. 3rd Edition. British Port Association. London, UK.

Lekarp, F. Simonsen, E. (ej publ.) Inventering och dimensionering av markstensbeläggningar för industriytor.

Lindh, P. (2000). *Soil stabilisation of fine grained till soils – the effect of lime and hydraulic binders on strength and compaction properties,* Licentiate thesis, Lund University. ISBN 91-630-8364-7.

Marksten och plattor, del 3 Drift och underhåll (2005), Sveriges Kommuner och Landsting, ISBN 91-7164-002-9.

Marksten och plattor på trafikerade kommunala ytor – Tillståndsuppföljning och undersökning av markstensytor (2002), Sveriges Kommuner och Landsting, ISBN 91-7289-049-5.

RA 98 Anläggning, Råd och anvisningar till Anläggnings AMA 98. Svensk Byggtjänst, 1999.

Shackel, B. (1991). *Design and construction of interlocking concrete block pavements.* Elsevier, ISBN 1-85166-566-8.

Shackel, B., Pearson, A., Holt, W. (2003). *A Survey of Australian Container Port Pavements Surfaced with Concrete Segmental Paving*. Proceedings, 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City, South Africa, October 12–15, 2003, Paper No. 44, 10 pp.

Silfwerbrand J. (2001). *Dimensionering av platsgjutna industriytor i betong*. KTH, TITRA-BKN. Rapport 63, 2001, ISSN 1103-4289.

Silfwerbrand, J. (2005). *Dimensionering av markstensöverbyggnader för industriytor.* CBI/R-2005/1-SE, CBI Rapport 1:2005, ISSN 0346-824.

Silfwerbrand, J.(1999) *Markstensbeläggningars bärförmåga – parameterstudie, jämförelser med utländska alternativ och förslag till dimensioneringstabeller*, Teknisk rapport 1999:18, Brobyggnad, Institutionen för byggkonstruktion, KTH, Stockholm, 47 s.

Silfwerbrand, J. (2003). *Design of Industrial Concrete Pavements – Summary of an International Workshop*. Proceedings, 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City, South Africa, October 12–15, 2003, Paper No. 19, 11 pp.

Smith, D.R. (2003). *Interlocking concrete pavement for the Port of Oakland, California, Berths 55–59*. Interlocking Concrete Pavement Institute, ICPI (USA), In: Pave Africa 2003.

Tjäl- och bärighetsdimensionering samt jämnhetskrav för platt- och Markstensöverbyggnader (2002). Tekniskt PM, Scandiaconsult.