

# TRVMB 301 Beräkning av tjällyftning

Trafikverkets metodbeskrivningar

TRV 2011:084

TDOK 2011:315

Titel: TRVMB 301 Beräkning av tjällyftning

Kontaktperson: Tomas Winnerholt

Uppdragsansvarig: Per Andersson

Utgivningsdatum: 2011-06-30

Version: 1,0

Dokumenttyp: Anläggningsstyrning – råd

Fastställt av: clVt

DokumentID: TDOK 2011:315

Publikationsnummer: TRV 2011:084

ISBN nummer:

Utgivare: Trafikverket

Tryck:

Distributör: Trafikverket, 781 87 Borlänge, telefon: 0771-921 921.

---

# Innehållsförteckning

1	ORIENTERING .....	4
2	SAMMANFATTNING .....	4
3	GILTIGHET .....	4
4	BERÄKNING AV TJÄLLYFTNING .....	5
5	BESTÄMNING AV MAXIMAL LYFTNINGSHASTIGHET GENOM FRYSFÖRSÖK .....	8
6	RAPPORT .....	9
	BILAGA 1 MATERIALEGENSKAPER .....	10

## 1 Orientering

Metodbeskrivningen avser beräkning av tjällyftningen i en väggkropp. Tjällyftningen begränsas för att undvika ojämna lyftningar på vintern och bärighetsproblem under tjällossningen. Beräkningen utförs med datorbaserat dimensioneringsverktyg som specificeras i metodbeskrivningen. Vid beräkningen krävs kännedom om väggkroppens och undergrundens uppbyggnad och material.

## 2 Sammanfattning

Utifrån givna klimatdata, materialegenskaper och tjocklekar för lager beräknas tjällyftningen i en vägkonstruktion.

I beräkningen nyttjas klassiska värmeledningsekvationer samt samband som beskriver jordmaterialens vattenflödes- och fuktvandringsegenskaper. Utdata ur modellen är :

- tjällyftningen under den period som motsvarar givna klimatdata,
- tjäldjupet under den period som motsvarar givna klimatdata.

Beräkningsmodellen finns implementerad i Trafikverkets program PMS Objekt för projekterings- och dimensioneringsändamål.

## 3 Giltighet

Denna metodbeskrivning är avsedd att tillämpas vid dimensionering av samt bärighetshöjande åtgärd i vägöverbyggnad enligt TRVK Väg.

## 4 Beräkning av tjällyftning

Kärnan i beräkningsrutinen beräknar värmeledning och tjällyftningshastighet i varje ögonblick. Programmet in konstruktionen i celler, ofta tunnare än de skikt som angetts när konstruktionen specificerats. Varje sådan cell har en temperatur som beräknas flera gånger för varje simulerad timme. Vid beräkningen av ny temperatur för en cell, tas hänsyn till de omgivande cellernas temperaturer och värmeledningsförmågan i det aktuella skiktet. Varma celler ger energi till kallare grannar.

När tjälen när ner till tjälfarligt material startar lyftningen. Om den kyleffekt, som beräknats med värmeledningsekvationen, räcker till, så lyfter väggkroppen med den maximala lyftningshastighet som motsvaras av materialets tjälfarlighet. Vid höga kyleffekter fås tjälnedträngning samtidigt med maximal lyftningshastighet. Vid låga kyleffekter fås en lyftningshastighet som är lägre än den maximala, om kyleffekten är negativ tinar den frusna marken, vilket kan inträffa både uppe vid vägytan och nere vid tjälgränsen.

En konsekvens av programmets sätt att beräkna tjälnedträngning och lyftningshastighet är att det bildas kraftigare islinser (mer lyftning per nivå) när tjälen tränger ner långsamt. Detta är särskilt intressant vid tjällossning, då det är av stor betydelse hur mycket vatten som kommer att frigöras ur islinser på olika nivåer när dessa tinar.

### 4.1 Indata

För en vägkonstruktion ställs krav på att den maximala tjällyftningen understiger visst värde beroende på objektets referenshastighet. Kraven finns i IFS 2009:2 Bilaga A. Denna uppgift ska anges för varje enskilt objekt som projekteras.

#### 4.1.1 Klimatdata

För klimatdata väljs en VViS station som har likartade klimatförhållanden som det aktuella vägobjektet. Klimatdatan innehåller uppmätta timvärden för vägytans temperatur under oktober t o m april vid en VViS station. Med PMS Objekt följer, en databas som innehåller klimatdata för varje VViS station.

Saknas klimatdata för en specifik plats eller om datakvaliteten är låg kan närliggande stationer användas. Om det finns möjlighet så försök då välja en närliggande station med bättre dataunderlag. Det finns annars en uppenbar risk att tjälproblemen underskattas och konstruktionen kan få tjälskador relativt snabbt, kanske redan efter ett eller ett par år.

#### 4.1.2 Materialegenskaper och lyfthastighet

För att beräkningsmodellen ska kunna fungera tillfredsställande krävs värden för ett antal parametrar. Förslag på värden för dessa parametrar, och för i vägar vanligt förekommande material finns i Tabell 4.1-1.

### 4.1.3 Lagertjocklekar

Tjocklek hos olika lager skall anges för att beräkning av tjällyft ska kunna genomföras. I normalfallet har bärlighetsberäkning utförts, och lager-tjocklekar hämtats därifrån. Justering kan lämpligen göras genom att öka tjockleken på skyddslagret eller i förekommande fall ett tjälisolerande lager.

Ett annat sätt är att skifta ut tjälfarligt material på terrass mot ett mindre lyftande. Utskiftning görs till frostfritt djup som anses vara tjäldjupet beräknat med

PMS Objekt, beräknat enligt TRVK Väg samt med eventuella justeringar enligt TRVR Väg.

## 4.2 Beräkningsmodell och beräkningssteg

### 4.2.1 Modellbeskrivning

Modellen utgår ifrån klassiska värmeledningsekvationer för att beräkna värmeflöden vertikalt genom en jordprofil. Eftersom modellen är endimensionell görs antagandet att förhållandena är konstanta i horisontalplanet. Vägytetemperatur från VViS-station (Vägverkets VäderinformationsSystem) används som indata till värmeflödesberäkningen.

Vägkonstruktionen delas in i celler och värmeflöde beräknas mellan respektive cell. Cellernas storlek varierar beroende på lagertjocklekar i vägkonstruktionen, men i huvudsak är cellerna tunnare nära vägytan och tjockare längre ner.

Vid tjälfronten antas vatten frysa vid 0 grader, och effekten av frysningen är densamma som om materialet torkar ut. I ett tjälfarligt material får detta som konsekvens att ett porvattenundertryck skapas vid tjälfronten, som försöker suga till sig vatten från närliggande områden för att normalisera trycket. Vid tjälfronten bildas i ett tjälfarligt material is utanför porerna i form av linser eller skikt. Är kyleffekten liten åtgår all kyleffekt till att frysa uppåtströmmande vatten till is, och därmed står tjälfronten stilla, och islinserna blir tjocka. När kyleffekten är stor räcker den även till att frysa porvatten och tjälgränsen flyttas nedåt i materialet. Högre kyleffekt medför alltså tunnare islinser. Islinsbildningen har prioritet över tjälnedträngningen så att kyleffekten som beskrivits ovan först används för lyftning, och endast vid högre effekter flyttar tjälgränsen nedåt.

Om kyleffekten är liten eller t.o.m. är "negativ" (när det är varmt) tinar det frusna materialet både uppifrån och nedifrån (med en viss tidsförskjutning).

Beroende på ett jordmaterials egenskaper är det mer eller mindre tjälfarligt. I TRVK Väg finns en indelning av jordmaterial i tjälfarlighetsklasser. Att ett material är mer eller mindre tjälfarligt beror på tre saker: Dess vatteninnehåll, dess uppsugningsförmåga (kapillaritet), och dess genomsläpplighet (permeabilitet eller hydraulisk konduktivitet). Tjälfarligast är de material som har ett stort vatteninnehåll, stor uppsugningsförmåga och dessutom en stor genomsläpplighet.

Tre huvudkategorier av jordmaterial kan urskiljas för mineraljordar. Den första är grovkorniga jordar med stor genomsläpplighet (permeabilitet),

litet vatteninnehåll och liten uppsugningsförmåga. Tjälfarligheten är väldigt liten eftersom det visserligen är lätt för vattnet att transporteras till tjälgränsen, men eftersom vatteninnehållet är litet och dessutom området från vilket vattnet kan sugas är litet blir tjällyften små.

Kategori 2 är mycket finkorniga jordar (t.ex. lera) där vatteninnehållet är mycket stort, uppsugningsförmågan också är stor, men där genomsläppligheten är liten eller mycket liten. Detta gör dessa jordar mindre tjälfarliga tack vare att jorden är så tät att det inte hinner flöda så mycket vatten till tjälfronten och bilda islinser, utan vattnet kommer att frysa i sina befintliga porer.

Den mest tjälfarliga kategorin är de jordar vars egenskaper ligger emellan kategori 1 och 2, dvs i huvudsak silt och vissa moräner med högt siltinnehåll.

Tjälfarligheten anges i beräkningsmodellen som maximal tjällyftningshastighet och finns angiven i Bilaga 1.

#### 4.2.2 Beräkningssteg

Följande steg krävs för att genomföra beräkning av tjällyftning enligt TRVK Väg.

1. Ange vägkonstruktion samt underbyggnad/undergrund avseende lagertjocklekar samt de materialegenskaper som finns i Bilaga 1, om egenskaperna avviker från Tabell 2.1.
2. Ange den VViS-station som klimatmässigt antas ligga närmast det vägobjekt som dimensioneras.
3. Ange vägsträckans referenshastighet, och utifrån den maximalt tillåten tjällyftning enligt IFS 2009:2 Bilaga A.
4. Ange grundvattentemperatur som använts vid beräkningen.
5. Ange beräknat tjällyft och tjäldjup.

## 5 Bestämning av maximal lyftningshastighet genom frys försök

Alla olika varianter av jordarter har inte provats, utan det kan ibland finnas behov att för en specifik jordart få reda på hur den reagerar vid tjälning och tjällossning. VTI kan utföra frys försök för att utvärdera detta.

För att efterlikna verkligheten i möjligaste mån utförs frys försök så att vatten tillförs nerifrån och kylning görs uppifrån, och jordprovet behöver ha viss höjd för att vattnet inte ska vara för lätt tillgängligt vid tjälfronten.

Vid VTI utförs numera frys försök på detta sätt med prover som är över 60 cm höga. Proverna hämtas i stålrör som trycks ner i undergrunden. Inför ett frys försök pressas provet över i det frysrör som används i själva testet. Under hanteringen eftersträvas att materialet förblir ostört. Frys försöket utförs med rörets nedre ände stående i en skål med vatten. Provets översta 10 cm fryses uppifrån varvid lyftningen registreras med hjälp av en dator. Avståndet mellan tjälgräns och den fria vattenytan är hela tiden minst 50 cm.

Hanteringen med ostörda prover fungerar bra för finkorniga material, men försvåras när kornstorleken ökar. Vid hantering av t ex en morän är det i det närmaste oundvikligt att materialet störs.

## 6 Rapport

Beräkning av tjällyftning skall rapporteras enligt följande:

Indata

- Materialtyp enligt Bilaga 1 samt avvikelser ifrån de rekommenderade värden som finns i Bilaga 1.
- VViS-station (nummer, beteckning och vald dimensionerande vinter enligt stationsbeteckning och namn i PMS Objekt)
- Beräknat tjällyft enligt PMS Objekt
- Beräknat tjäldjup enligt PMS Objekt

## Bilaga 1 Materialegenskaper

Tabell 2.1 Rekommenderade värden på materialegenskaper för olika vägbyggnads- eller undergrundsmaterial

Materialtyp enligt ATB VÄG	Vattenhalt [%/100]	Torr- densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [%]	Vattenmätt- nadsgrad [%]	Tjälfarlig- hets-klass	Max lyfthastighet [mm/dygn]	Värmelednings- förmåga ofrusen [W/mK]	Värmelednings- förmåga frusen [W/mK]
<b>Överbyggnads-material</b>								
Bitumenbundet bär- och slitlager samt bindlager	0,01	2200	0,17	0,13	-	Ej tjällyftande	2,00	2,00
Bitumenindränkt makadam, övre bitumenrik	0,01	2100	0,21	0,10	-	Ej tjällyftande	2,00	2,00
Bitumenindränkt makadam, nedre bitumenfattig	0,01	2100	0,21	0,10	-	Ej tjällyftande	1,90	1,90
Cementbetong	0,01	2400	0,09	0,27	-	Ej tjällyftande	1,20	1,20
Cementbundet bärlager	0,01	2400	0,09	0,27	-	Ej tjällyftande	1,40	1,40
Obundet bärlager	0,03	2000	0,25	0,24	-	Ej tjällyftande	1,33	1,02
Äldre bärlager	0,05	2000	0,25	0,40	-	Ej tjällyftande	1,56	1,39
Förstärkningslager belagd väg (krossat och okrossat)	0,03	2000	0,25	0,24	-	Ej tjällyftande	1,33	1,02
Förstärkningslager grusväg	0,13	1800	0,32	0,73	-	Ej tjällyftande	1,56	2,04

Materialtyp enligt ATB VÄG	Vattenhalt [%/100]	Torr-densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Porositet [%]	Vattenmättnadsgrad [%]	Tjälfarlig-hets-klass	Max lyfthastighet [mm/dygn]	Värmelednings-förmåga ofrusen [W/mK]	Värmelednings-förmåga frusen [W/mK]
Förstärkningslager obunden bergkross	0,08	2000	0,25	0,64	-	Ej tjällyftande	1,67	1,90
Äldre förstärkningslager	0,05	2000	0,25	0,40	-	Ej tjällyftande	1,56	1,39
Skyddslager	0,13	1900	0,28	0,88	-	Ej tjällyftande	1,80	2,43
Obundet bärlager grusväg	0,13	1800	0,32	0,73	-	Ej tjällyftande	1,56	2,04
Grusslittlager	0,15	1700	0,36	0,71	2	0,5	1,45	1,95
<b>Undergrunds- och undergrundsmaterial</b>								
Fast berg	0	2630	0,01	0,88	-	0	3,00	3,50
Sprängsten och krossad sprängsten	0,01	1600	0,4	0,04	-	0	1,30	1,30
Grovkornig jord	0,1	1800	0,32	0,56	1	0	1,40	1,64
Blandkornig jord med finjordshalt mindre än 30%	0,13	1900	0,28	0,88	2	,5	1,80	2,43
Blandkornig jord med finjordshalt större än 30 %	0,2	1700	0,36	0,94	3	1	1,61	2,50
Lera	0,24	1600	0,4	0,96	3	1	1,52	2,51
Silt	0,25	1700	0,36	1,00	4	2,0	1,65	2,64
Äldre grovfraktion	0,13	1900	0,28	0,88	2	0,5	1,80	2,43



Trafikverket, 781 87 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1.  
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 0243-795 90

[www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se)