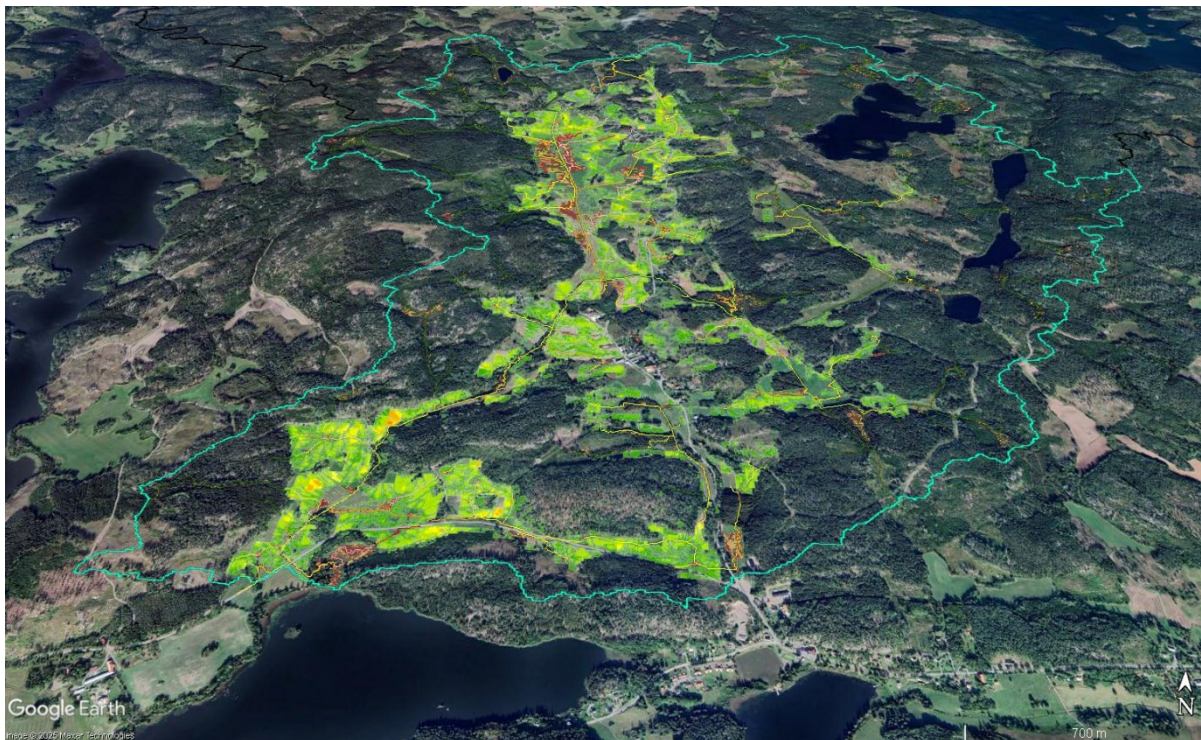


# Erosionsriskkartor för åkermark – uppdatering 2025

---

Faruk Djodjic och Hampus Markensten

SLU, Institutionen för vatten och miljö



## Introduktion

I 2017 gav Jordbruksverket SLU uppdraget att modellera erosionsrisk och ta fram erosionsriskkartor. I 2024 fick SLU ett uppdrag från Jordbruksverket att uppdatera beräkningen av erosion. Denna rapport är en reviderad rapport med nya beräkningar av erosionsrisk med dokumentation av eventuella förändringar i både indata och beräkningsparametrar.

## Bakgrund

I nuvarande programperiod för jordbrukspolitiken 2023-2027 är det möjligt att söka ersättning för att anlägga skyddszoner på åkermark, både längs med vattendrag och i fält, så kallade anpassade skyddszoner. Syftet är att minska ytavrinningen från åkermarken till vattendrag och därmed minska förlusten av jordpartiklar och växtnäringssämnen. Även växtskyddsmedel som binds till jordpartiklar kan på så vis minska genom att skyddszonerna fungerar som en barriär mot vattendragen. Det går att söka miljöersättning för skyddszoner om zonerna ligger inom det nitratkänsliga området och om man sköter skyddszonerna enligt de villkor som ställs upp. För skyddszoner utmed vattenområden finns inga krav på vilken typ av åkermark som kan komma ifråga dvs. ingen koppling mellan risk för att ytavrinning och erosion ska uppkomma och beviljande av miljöersättningen. Anpassade skyddszoner däremot, ska ligga på erosionsbenägen mark.

Om skyddszoner placeras optimalt kan både renings- och kostnadseffektiviteten öka betydligt. Detta på grund av att man behöver en mindre yta skyddszoner i ett avrinningsområde då man placerar skyddszonerna optimalt. Det innebär att en mindre areal jordbruksmark behöver tas ur bruk, vilket medför minskade kostnader och ökad kostnadseffektivitet (kr/kg fosfor) för läckagereduktionen i zonerna.

I 2024 gav Jordbruksverket SLU uppdraget att modellera erosionsrisk och ta fram erosionsriskkartor. Modelleringen av erosion och framtagning av riskkartor för åkermark omfattar de tre södra vattendistrikten i Sverige. Utöver det ska Dalälvens avrinningsområde ingå. För detta ändamål användes en erosionsmodell (Djodjic and Markensten, 2019) som baserar sig på högupplösta höjddata (Lantmäteriet, 2014), jordartskartan för åkermark (Söderström and Piikki, 2016) kombinerad med jordartskartan för övrig mark samt markanvändningskartan från PLC8 projektet (Widén-Nilsson et al., In prep) med hänsyn tagen till indelningen på åker- och betesmark.

## Metodbeskrivning

Erosionsmodellen (modifierad Unit Stream Power Erosion Deposition, USPED) har blivit framgångsrikt testad för identifiering av riskområden för ytavrinning och erosion för ett område i Dalarna (Djodjic and Spännar, 2012), fyra avrinningsområden i Sverige (Djodjic and Villa, 2015) samt för 15 gårdar som ingår i projektet Odling i balans (Djodjic et al., 2018). Den tidigare beräkningen av erosion för södra halvan av Sverige har blivit vetenskapligt publicerat i AMBIO (Djodjic and Markensten, 2019). Dessutom vidareutvecklades modellen för att kunna dynamisk modellera transport av suspenderat material (Sandström et al., 2023), vilket möjliggjorde finjustering av ingående parametrar inför denna beräkning. I korthet beräknar USPED rumslig distribution av erosion och deposition vid "steady state" förhållanden av vattenflödet (dvs. ytavrinningen), som kan approximeras som en funktion av uppströms bidragande area. Nettoerosion och deposition är beräknade som divergens av sedimentflöde i flödets riktning med hänsyn tagen till topografisk

komplexitet både i flödets/lutningens riktning (längsprofil, profile curvature) och vinkelrätt mot flödets/lutningens riktning (tvärprofil, tangential curvature). Precis som vid förra beräkningen resulterar modellkörningar i två kartor. Den ena karta visar resultat för nettoerosion för enskilda celler, det vill säga indikerar mobilisering eller deponering av suspenderat material. Den andra karta visar hur de mobiliserade partiklarna ackumuleras i landskapet. I denna beräkning uppdaterades resultat med en tredje karta som kompletterar ackumuleringslinjer och visar spridningen av flöden till närmast liggande ytor, om höjdskillnaden är liten (Djodjic and Markensten, 2025). Vid beräkningar av flödesackumulering med rasterdata ackumuleras flöden alltid nedströms till en cell vilket sedan leder att ingen spridning sker och ackumuleringen resulterar i en linje. I verkligheten kan vatten och i det suspenderade materialet spridas i form av dispergerade (dvs. spridda) flöden till närliggande ytor om höjdskillnaderna är små. Det kan vara betydelsefullt att illustrera denna spridning kring ackumuleringslinjer för att till exempel identifiera områden som ligger i riskzonen för ytavrinning eller för att hamna under vatten vid höga flöden, vilket kan vara viktigt vid utformning av eventuella motåtgärder.

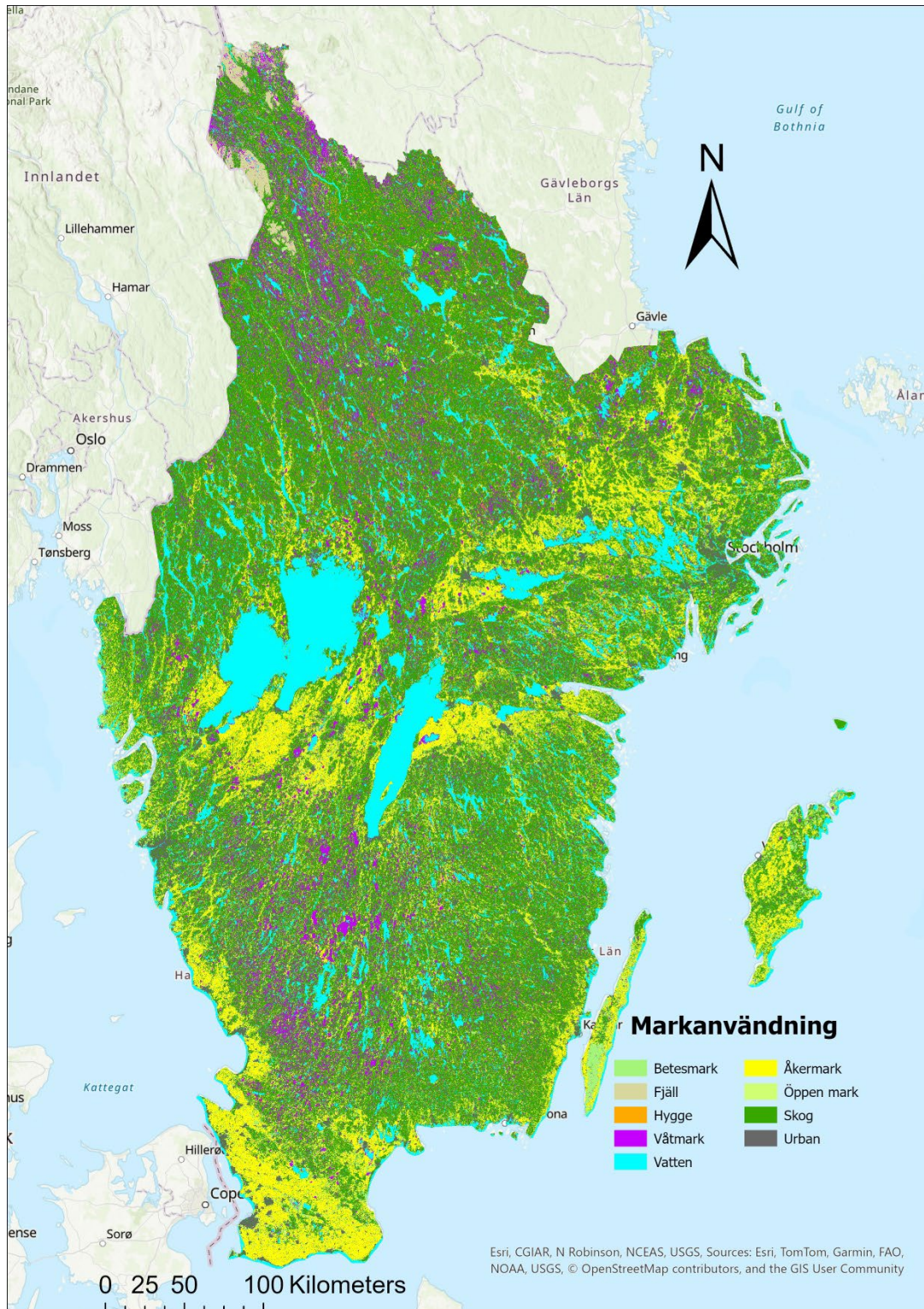
### **Indata till modelleringen**

Som grunddata användes Lantmäteriets höjddata (Lantmäteriet, 2014) med 2x2 meters upplösning. Den modellerade delen av Sverige (tre södra vattendistrikten i Sverige samt Dalälvens avrinningsområde) täcker 202 279 km<sup>2</sup>. Den höga upplösningen och den begränsade datorprestandan styrde modelleringen, som gjordes som en iterativ process för sammanlagt 1629 avrinningsområden, som i storlek varierade från 21.6 km<sup>2</sup> till 915.6 km<sup>2</sup>. I övrigt används i USPED samma faktorer som i USLE/RUSLE som beskriver nederbördens och avrinningens effekt på erosion (R faktor), jordartens erosionskänslighet (K värde) samt effekten av vegetationstäcket (C värde).

Modellering av erosionsriskkartorna utfördes som ett så kallad "worst case scenario". För det första, all åkermark modellerades i princip som barmark. Jordbruksgrödorna skyddar marken från erosion genom sitt vegetationstäcke. Vall, som är en av de arealmässigt stora grödorna i Sverige, är ett exempel på en gröda som skyddar marken väl, medan risken för erosion är högre för grödor som under kortare eller längre perioder lämnar markytan oskyddad. Vi gjorde antagandet att all åkermark ingår i en växtföljd, och att det är den mest känsliga perioden, det vill säga period utan vegetationstäcket, som ska beskrivas med riskkartan. I detta syfte användes markanvändningskarta från PLC-8 projektet (Widén Nilsson, in prep.) där kategorierna valdes för att kunna skilja skog och kalhygge åt, samt åkermark och betesmark (Figur 1, Tabell 1). Upplösning 10 x 10 m (från NMD) har omformatrats till 2 x 2 m för att matcha höjddata.

Tabell 1. Värden som beskriver effekten av vegetationstäckning (C värde) för olika markanvändning

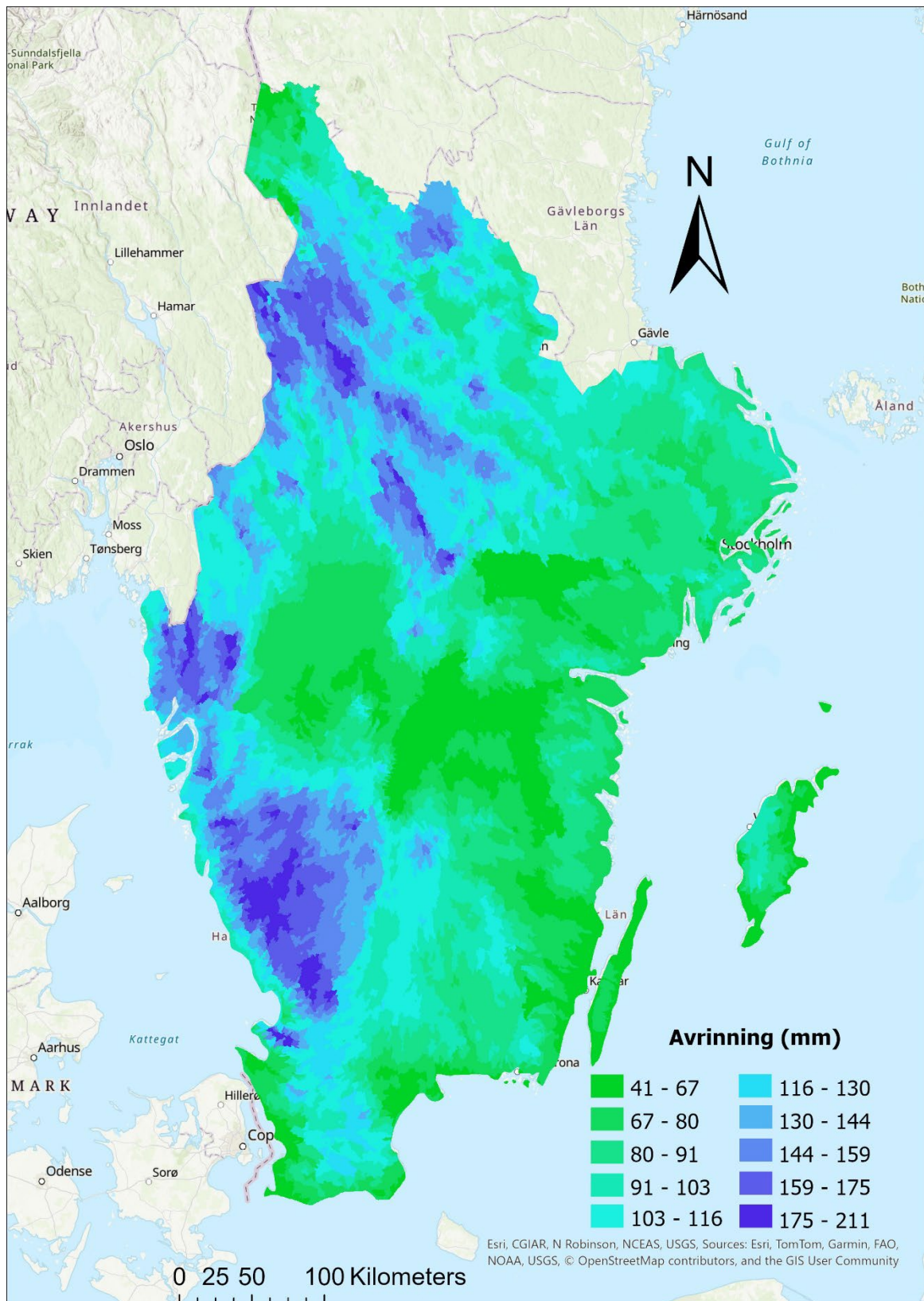
<b>Markanvändning</b>	<b>C värde</b>
Tätort	0.01
Skog	0.01
Öppen mark	0.02
Fjäll	0.01
Vatten	0.001
Hav	0.001
Myr	0.01
Åkermark block	0.6
Hygge	0.1
Våtmark Övrigt Okänt	0.01
Bete	0.04



Figur 1. Markanvändningskarta

För det andra, antogs att perioden februari till och med april är den mest känsliga perioden för erosion då marken är oskyddad och snösmältningen samt vårfloedesepisoder utgör en hög risk för erosion. Därför användes summan av flödet under dessa tre månader för att beskriva klimatets påverkan. Modellerad månatlig avrinning per delavrinningsområde enligt modellen SHYPE22a levererades av SMHI för period 2010-2022. Månatlig medelavrinning beräknades och därefter togs

fram summan för avrinningen i februari, mars och april som ett worst-case scenario (Figur 2). Framtagna värden matchades med en GIS-fil över avrinningsområden och gjordes om till en 2 x 2 m raster fil (för att matcha höjddata).

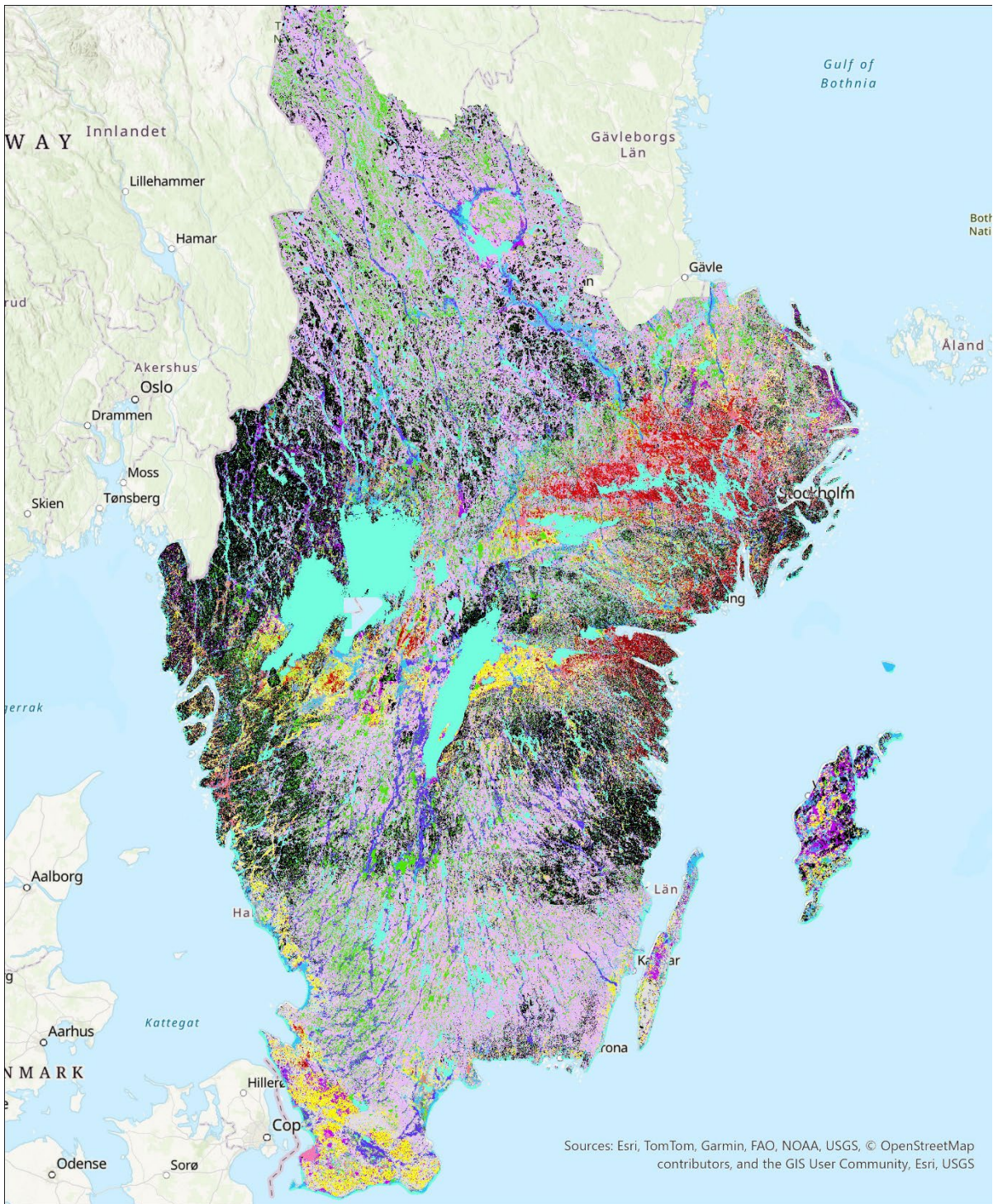


Figur 2. Medelavrinningen i mm för perioden februari-april. Månadsmedelvärdena representerar perioden 2010-2022.

Jordartsfördelningen är också viktig indata till modellen (Tabell 2 och Figur 3). För att få bästa tillgängliga karta över jordartsfördelningen användes den digitala åkermarkskartan för jordbruksmark (Söderström and Piikki, 2016) medan SGU:s jordartskarta användes för övrig markanvändning som t ex skog, öppen mark. SGU har jordartskartor av olika kvalitet och upplösning i olika delar av Sverige. För att ta fram ett heltäckande skikt kombinerades SLU:s digitala jordartskarta (DSMS, version 191205), som täcker jordbruksmark, med SGU:s jordartskartor med upplösning 1:25 000 – 1:100 000 (Produktversion 1.0, 20240609) för områden utanför jordbruksmark. Upplösning 50 x 50 m (från DSMS) har gjorts om till 2 x 2 m (för att matcha höjddata).

Tabell 2. Värden som beskriver jordens erodibilitet (sårbarhet mot erosion, K värde) och permeabilitet (genomsläpplighet, P värde) för olika jordarter

Jordart	Markanvändning	K värde	P värde
SAND	Jordbruksmark	0.04	0.75
LOAMY SAND	Jordbruksmark	0.09	0.65
SANDY LOAM	Jordbruksmark	0.1	0.6
LOAM	Jordbruksmark	0.5	0.35
SILT LOAM	Jordbruksmark	0.82	0.1
SILT	Jordbruksmark	0.9	0.1
SANDY CLAY LOAM	Jordbruksmark	0.15	0.55
CLAY LOAM	Jordbruksmark	0.67	0.2
SILTY CLAY LOAM	Jordbruksmark	0.75	0.15
SANDY CLAY	Jordbruksmark	0.35	0.45
SILTY CLAY	Jordbruksmark	0.82	0.05
CLAY	Jordbruksmark	0.67	0.15
Organisk jordart	Övrigt	0.01	0.75
Lera	Övrigt	0.57	0.25
Sand SGU	Övrigt	0.04	0.75
Grus	Övrigt	0.02	0.75
Sten-block	Övrigt	0.02	0.2
Isälvs sediment, sand-block	Övrigt	0.02	0.75
Moränlera	Övrigt	0.3	0.3
Morän	Övrigt	0.1	0.45
Tunt jordtäckte	Övrigt	0.1	0.1
Berg	Övrigt	0.01	0.1
Fyllning	Övrigt	0.02	0.75
Övrigt	Övrigt	0.02	0.75
Vatten	Övrigt	0.001	0.99



- |           |                 |                  |                 |
|-----------|-----------------|------------------|-----------------|
| Annat     | Isälvs sediment | Organisk jordart | Silt            |
| Berg      | Lera            | Sand             | Silt loam       |
| Clay      | Loam            | Sand SGU         | Silt SGU        |
| Clay loam | Loamy sand      | Sandy clay       | Silty clay      |
| Fyllning  | Morän           | Sandy clay loam  | Silty clay loam |
| Grus      | Moränlera       | Sandy loam       | Sten-block      |
|           |                 |                  | Vatten          |

Figur 3. Jordartsfördelningen för Sverige söder om Dalälven.

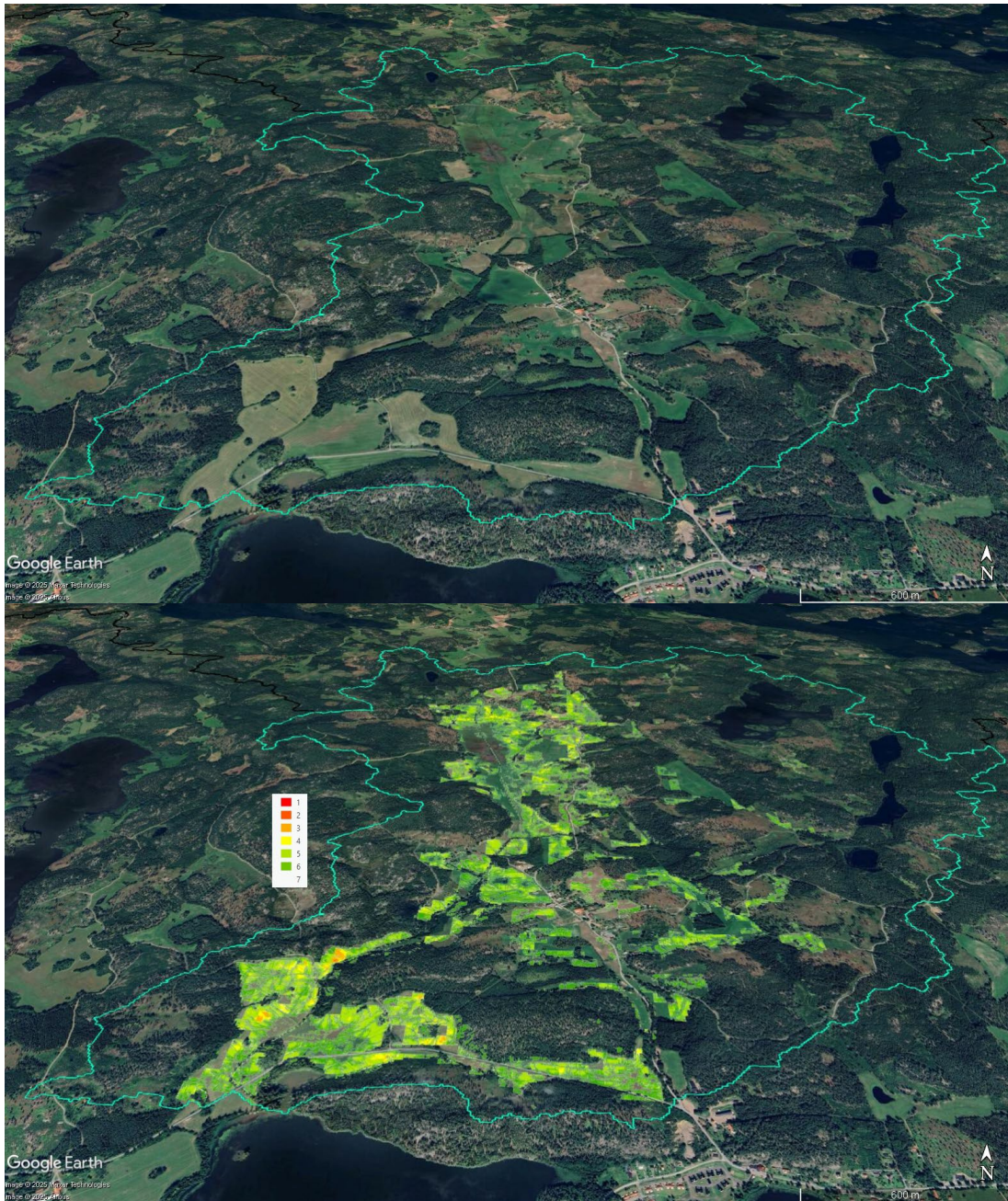
## Resultat

Den totala modellerade arean (202 279 km<sup>2</sup>) och den höga upplösningen (2x2m celler) innebär att modelleringen utfördes för över 50 miljarder celler. Den modellerade arean täcker 90.4% av Sveriges jordbruksmark. Huvudprodukter från den utförda modelleringen är:

1. Riskkarta över markens sårbarhet för erosion, det vill säga potentialen för mobilisering av jordpartiklar i varje cell, uttryckt i kg/ha. De modellerade kvantitativa värdena av det tillämpade "worst case" scenariot är dock inte tillräcklig testade och validerade, och resultatvärden indelades därför i riskklasser för att illustrera de rumsliga variationerna och visa på de relativa skillnaderna mellan olika delar av fälten. Den lägsta erosionsklassen (klass 7) gjordes transparent för att bättre visualisera de övriga klasserna.

Tabell 3. Riskklasser för mobilisering av jordpartiklar i fält.

Riskklass	Mobilisering i fält kg/ha
7	<5
6	5-10
5	10-50
4	50-100
3	100-250
2	250-500
1	>500



Figur 4. Litet delavrinningsområde i Östergötland, utan (ovan) och med (nedan) beräknade erosionsriskklasser över mobilisering av markpartiklarna i fält.

2. Riskkarta över hur de mobiliserade jordpartiklarna ackumuleras i landskapet ( $t/km^2$ ) för alla celler med ett tillrinningsområde större än 2 hektar. Återigen, de modellerade kvantitativa värdena av det tillämpade "worst case" scenariot är inte tillräckligt testade och validerade, och resultatvärden indelades därför i riskklasser för att illustrera rumsliga variationer och visa på relativa skillnader mellan olika delar av fälten.

Tabell 4. Riskklasser för flödesackumulering i landskapet

Riskklass	Flödesackumulerade värden (t/km <sup>2</sup> )
7	<0.5
6	0.5-1
5	1.0-5
4	5-10
3	10-25
2	25-50
1	>50

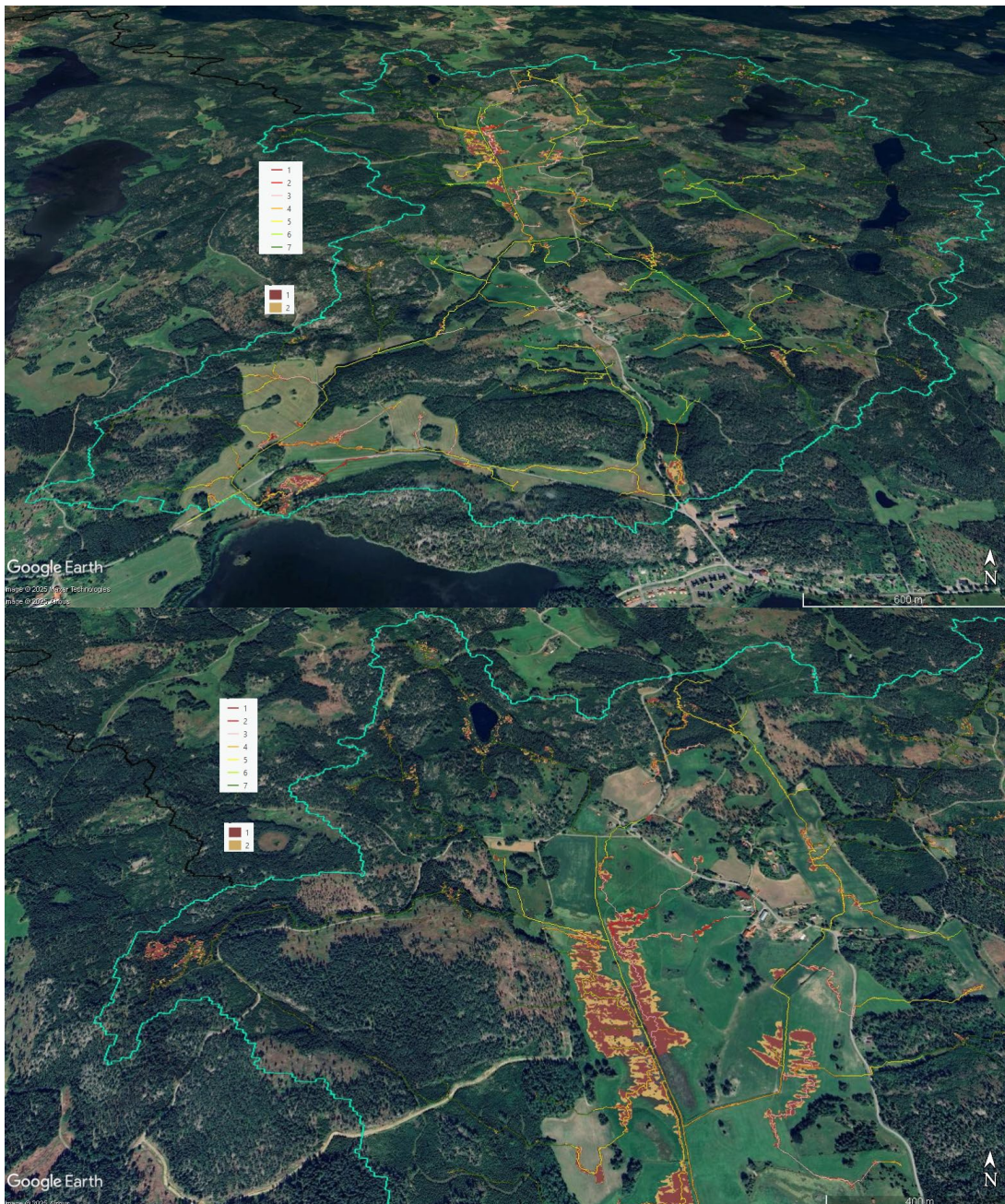


Figur 5. Litet delavrinningsområde i Östergötland med beräknade erosionsriskklasser över flödes- och materialackumulering i landskapet.

- Riskkarta över dispergerade dvs. spridda flöden för alla celler med ett tillrinningsområde större än 2 hektar (Figur 6). Genom att använda flödesackumuleringsceller som höjddiferensceller modifierade vi den ursprungliga digitala höjdmodellen (DEM) för att identifiera flödesspridning till angränsande celler inom 5 cm (klass 1) respektive 10 cm (klass 2) höjdskillnad.

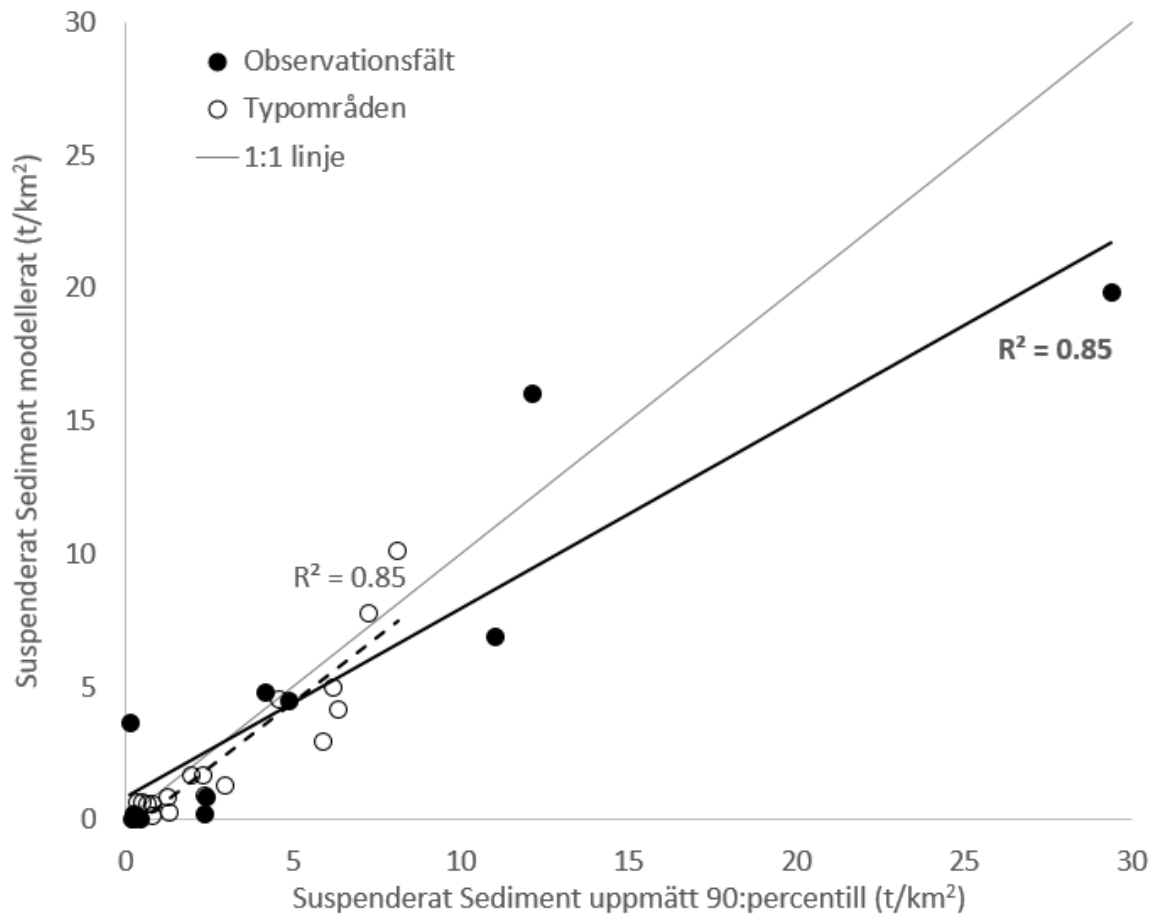
Tabell 4. Riskklasser för spridning av flöden i landskapet

Riskklass	Höjdskillnad
1	<5.0 cm
2	5.0-10.0 cm



Figur 6. Litet delavrinningsområde i Östergötland med beräknade erosionsriskklasser över flödes- och materialackumulering samt dispergerade flöden, för hela området (ovan), och för det nordvästra hörnet (nedan).

Modellresultat utvärderades även i kvantitativa termer, där de framräknade mängderna av suspenderat material jämfördes med uppmätta värden. Det måste dock beaktas att vi modellerade ett "worst case" scenario, vilket innebär att jämförelsen rakt av med uppmätta värden är svår: modellerade resultat borde vara betydligt högre än de uppmätta resultaten och snarare betraktas som erosionspotential. Därför jämfördes de modellerade resultaten med 90:e percentilen av de uppmätta månadstransporterna av suspenderat material för 18 mindre, jordbruksdominerade avrinningsområden samt 11 observationsfält (Figur 7). Den 90:e percentilen beräknades för månadstransporter av suspenderat material för mätperioden 2010-2022, för att tidsmässigt matcha avrinningsdata från samma period som användes som indata.



Figur 7. Samband mellan modellerade transportvärden och den 90:e percentilen av uppmätta transporter för 18 små avrinningsområden dominerade av jordbruksmark samt 9 observationsfält för perioden 2010-2022.

## Diskussion kring resultatens användbarhet och tillförlitlighet

Det är viktigt att betona att riskkartorna utgör ett diskussionsunderlag och inte ett facit. De tre typerna kartor som åskådliggör risker kan vara ett underlag för diskussion kring olika motåtgärder för att minska erosion och transport av suspenderat material, och fosfor bunden till partiklarna. Ett av användningsområdena för sådana riskkartor är att identifiera områden där erosion bedöms så låg att eventuella motåtgärderna som syftar till att minska erosions- och ytavrinningsförluster är ineffektiva och kostsamma. Det är vid betydande fosforförluster i sådana områden, bättre att fokusera på andra processer än erosion. Framförallt kan fokus läggas där på transport av löst fosfor genom markprofilen och alla parametrar och variabler som påverkar det, som t ex fosforhalt i marken, markens fosforbindningsförmåga och gödslingsnivåer (Djodjic et al., 2023; Djodjic et al., 2018).

Det finns starka samband ( $R^2=0.85$ ,  $p<0.0001$ ) mellan de modellerade och de uppmätta transportererna för både observationsfälten och typområden, vilket indikerar att modellen lyckades skilja områden med låga transporter av suspenderat material från sårbara områden där erosion och transport av suspenderat material, och till det bundna ämnen som fosfor, är mycket högre. Användandet av den 90:e percentilen för att beskriva erosionspotentialen kan förstås ifrågasättas,

men med tanke på det modellerade "worst case" scenariot anser vi den vara ett bättre jämförelsevärde än t ex medel- eller medianvärden. Intressant nog, men ändå ganska slumpartat, visade det sig att den beräknade linjära regressionslinjen låg ganska nära 1:1 linje, vilket innebär att det modellerade "worst case" scenariot ligger ganska nära den valda 90:e percentilen (Figur 7).

Vår hypotes är att riskkartorna över erosion i fält med fördel kan användas som diskussionsunderlag vid planering av åtgärder som syftar till att minska mobiliseringen av jordpartiklar. Exempel på sådana åtgärder är strukturkalkning där framräknade riskkartor skulle kunna användas tillsammans med lerhaltskartan för att prioritera de fält och delar av fält som behöver strukturkalkas. En sådan riskkarta skulle också kunna beaktas vid grödval och växtföljd liksom för anpassning av bearbetningsriktning och behandling av skörderester med mera.

Å andra sidan kan riskkartorna över flödes- och materialackumuleringen i landskapet och spridningen kring ackumuleringslinjerna utgöra ett diskussionsunderlag för motåtgärder som syftar till att förhindra transport av suspenderat material och till det bunden fosfor från fält till dike och vattendrag/sjö. Bra exempel på sådana åtgärder är både skyddszoner utmed vattenområden och anpassade skyddszoner inne på fältet vars placering kan diskuteras utifrån de modellerade risklinjerna och spridningsområden. Detsamma gäller placering och dimensionering av fosfordammar och våtmarker. Vid de flertal okulära bedömningar av framräknade ytavrinnings- och erosionslinjer noterades att de oftast löper över de befintliga dräneringssystemen och ytavrinningsbrunnarna. På ett sätt är också det ett bevis för att modellen lyckas identifiera områden sårbara för ytavrinning eftersom installationer av ytavrinningsbrunnar ofta är behovsstyrda. I detta fall kan skyddszoner kring ytavrinningsbrunnarna vara ett åtgärdsalternativ. I vissa delar av landet tex. i Uppland illustrerar flödesackumuleringslinjerna även möjliga flödesvägar som sträcker sig från skogsområden i högre delar av terrängen och därefter flödar över till jordbruksmark. I sådana fall skulle man kunna beakta riskkartorna vid behov av underhåll av så kallade backdiken, diken som avskärmar skogen från jordbruksfält.

Den digitala åkermarkskartan (Söderström and Piikki, 2016) är ett bra underlag att utgå ifrån för storskaliga modelleringar som denna. Fördelen med denna karta är att eventuella missbedömningar av texturklass oftast blir begränsade till texturmässigt närliggande klasser. Det innebär att medan det finns risk att en loamy sand bedöms som sandy loam, så är risken väldigt liten att den tilldelas texturklass lera eller liknande. Därmed påverkar inte sådana felbedömningar resultaten på ett avgörande sätt, utan för det mesta påverkar det nivåerna för de beräknade kvantitativa transportvärden. Det är värt att notera att liknande missbedömningar i både jordartsdata och i markanvändningskartor påverkar transportmängderna men inte transportvägarna.

Å andra sidan, brister i höjddata kan påverka den rumsliga identifieringen av riskområden. Ett bra exempel på detta är när vägar går över diken och vattendrag. I detta fall syns vägarna som upphöjda områden över vattendragen då vägtrumorna inte syns i höjddata. Vägen utgör därmed ett flödeshinder och vatten tar oftast en annan väg än den korrekta genom vägtrumman och under vägen (Eveborn and Djodjic, 2015). I denna uppdatering av beräkningar tillämpades en automatisk överbrygning i de fall där ett vattendrag mötte en väg (White Box Burn Streams at Roads) för att undvika att felaktiga flödesackumuleringslinjer och transportvägar skapas. Det borde innebära en mer träffsäker identifiering av vattenvägar lokalt i landskapet.

## Referenser

- Djodjic, F., Bergström, L., Schmieder, F., Sandström, C., Agback, P. and Hu, Y. 2023. Soils potentially vulnerable to phosphorus losses: speciation of inorganic and organic phosphorus and estimation of leaching losses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*.
- Djodjic, F., Elmquist, H. and Collentine, D. 2018. Targeting critical source areas for phosphorus losses: Evaluation with soil testing, farmers' assessment and modelling. *Ambio* 47, 45-56.
- Djodjic, F. and Markensten, H. 2019. From single fields to river basins: Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses at high resolution. *Ambio* 48, 1129-1142.
- Djodjic, F. and Markensten, H. 2025 Identifying waterlogging on arable fields - combining high-resolution distributed modelling and satellite images, Aarhus, Denmark.
- Djodjic, F. and Spännar, M. 2012. Identification of critical source areas for erosion and phosphorus losses in small agricultural catchment in central Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B* 2013; *Soil & Plant Science*, 229-240.
- Djodjic, F. and Villa, A. 2015. Distributed, high-resolution modelling of critical source areas for erosion and phosphorus losses. *AMBIO* 44(2), 241-251.
- Eveborn, D. and Djodjic, F. 2015 GIS-kartering av miljöskydds nivå för små avlopp - Ett hjälpmedel vid tillstånds- och tillsynsarbete. JTI (ed).
- Lantmäteriet 2014 Produktbeskrivning: GSD-Höjddata, grid 2+ Lantmäteriet (ed), p. 19, Gävle, Sweden (in Swedish).
- Sandström, S., Markensten, H., Futter, M.N., Kyllmar, K., O'Connell, D.W., Bishop, K. and Djodjic, F. 2023. Distributed dynamic modelling of suspended sediment mobilization and transport from small agricultural catchments. *Frontiers in Environmental Science* 11.
- Söderström, M. and Piikki, K. 2016 Digitala åkermarkskartan – detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord
- Widén-Nilsson, E., Back, E., Hellgren, S., Hellsten, S., Markensten, H., Olshammar, M. and Strömqvist, J. In prep Kartdata till PLC8 – Underlagsrapport till Pollution Load Compilation 8. SMED Rapport. (Manuskript).